



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

SAARA SEPPÄNEN

METALLITEOLLISUUDESSA ESIINTYVÄN MELUN MITTAAMINEN,  
ARVIOINTI JA MITTAUSMENETELMIEN KEHITTÄMINEN  
TYÖTURVALLISUUDEN NÄKÖKULMASTA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jouni Kivistö-  
Rahnasto

Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 8. huhtikuuta  
2015

## TIIVISTELMÄ

### TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

**SEPPÄNEN, SAARA:** Metalliteollisuudessa esiintyvän melun mittaaminen, arviointi ja mittausmenetelmien kehittäminen työturvallisuuden näkökulmasta

Diplomityö, 88 sivua, 1 liite (2 sivua)

Marraskuu 2015

Pääaine: Turvallisuustekniikka

Tarkastaja: professori Jouni Kivistö-Rahnasto

Avainsanat: melu, ammattitauti, kuulovaurio, melun mittaaminen, ekvivalenttimelutaso, työhygieniä

Melu on säilynyt vuodesta toiseen työpaikkojen keskeisenä ongelmakohtana, erityisesti teollisuuden alalla. Kaikkia toimialoja tarkasteltaessa on melulle altistuminen työpaikoilla laskenut, mutta rakentamisen ja kaivos- sekä metalliteollisuuden parissa altistuneiden määrä on hienoisessa kasvussa. Arvioiden mukaan noin 480 000 työntekijää altistuu työpaikallaan päivittäin yli 80 dB:n (A) melulle ja noin 190 000 työntekijää yli 85 dB:n (A) melulle.

Melu aiheuttaa vuositasolla suurimman osan ammattitautiepäilyistä. Vuosittain raportoidaan noin 1700 uutta kuulovammaa tai sen epäilyä, mutta niistä melun aiheuttamaksi ammattitaudiksi vahvistetaan noin 800 tapausta. Melun vaikutukset näkyvät pääosin parantumattomina kuulovaurioina. Muita melun haittavaikutuksia ovat tinnitus, stressi, univaikeudet ja muut psyykkiset vaikutukset, sydän- ja verenkiertoelimistön muutokset sekä pidentynyt reaktioaika. Näiden lisäksi melu vaikeuttaa kommunikointia työpaikalla ja saattaa täten lisätä onnettomuusriskiä. Koska kuulo on ihmisen korvaamaton aisti, eikä kuulovaurioita ole mahdollista parantaa, on kuuloa suojeltava vaurioitumiselta.

Melualtistumiseen ja kuulovammoihin on pyritty vaikuttamaan meluntorjunnan keinoin, hallinnollisilla säännöksillä (VNa 85/2006), suojaimilla ja työmenetelmillä, mutta kuitenkin vaikutukset eivät ammattitautitilastojen valossa ole merkittäviä. Työhygieeniset melusuositukset perustuvat nykyään vain ekvivalenttimelutason,  $L_{Aeq}$ , mittauksiin, vaikka melulla on muitakin ulottuvuuksia, esimerkiksi taajuustasossa. Toinen ongelma on se, että melusta saatavaa tietoa ei osata hyödyntää, eikä se johda toimenpiteisiin.

Nykypäivän teknologia mahdollistaa monipuolisempien mittausten tekemisen, jolloin melusta saadaan paljon enemmän informaation sisältöä. Tässä työssä selvitettiin käytännön melumittausten avulla kahden eri menetelmän eroja ja tutkittiin, minkälaista informaatiota on näiden mittausten avulla mahdollista kerätä. Selvitetiin myös miten mitaustuloksia tulisi tulkita ja analysoida, ja minkälaisia johtopäätöksiä niiden perusteella voidaan tehdä.

Työn merkittävin anti oli se, että melun luonteesta, käyttäytymisestä, mittaamisesta ja mittauksiin vaikuttavista asioista, sekä mittausmenetelmien eroista ja hyödyntämismahdollisuuksista saavutettiin valaistuneempi käsitys. Ymmärrettiin, että nykyiset mittalaitteet ja -menettelyt eivät palvele meluntorjunnan tarpeita riittävän hyvin, vaan uutta teknologiaa ja näkemystä tarvitaan.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation Technology

**SEPPÄNEN, SAARA:** Occupational noise measurements among metal industry: data-analysis and method development

Master of Science Thesis, 88 pages, 1 Appendix (2 pages)

November 2015

Major: Occupational Safety Engineering

Examiner: Professor Jouni Kivistö-Rahnasto

Keywords: noise, occupational disease, hearloss, tinnitus, noise measurement, equivalent noiselevel

Year after year noise retains its place as a one of the most common problem at workplaces, especially in the heavy industrial field. Among all fields of business noise exposures at work have decreased, but among constructional business and mining- and metalindustry amount of the exposure is increasing slightly. It has been evaluated that approximately 480 000 workers are exposing to noise over 80 dB (A) and approximately 190 000 workers are exposing to noise over 85 dB (A) at their workplaces in daily basis.

Yearly, noise causes most of the occupational disease suspicions. Every year approximately 1700 new hearloss and -damage or suspicion of them are reported. Approximate 800 of them are confirmed as an occupational disease caused by noise. Main effects of noise are incurable hearlosses and -damages. Other side effects are tinnitus, increased stress level, sleeping problems and other psychic effects, cardiovascular changes and -problems and longer reaction time. In addition to this, noise diffucults communication at workplaces and can cause higher risk of accidents.

Human ability to hear is a unique and unreplacable sense. Since hearlosses can not be cured, must the hearing ability be protected from damages. Actions and regulations toward reduction of noise-exposure and hearing damages have been made, but looking at the occupational disease statistics, the results have not been remarkable. Work-hygienic recommendations about noise are currently based on just measurements of equivalent noiselevel,  $L_{Aeq}$ , even though noise has other dimensions as well, for example in its frequencyband. Other problem is that, the information that can be collected from noise is not properly utilized and it does not lead to actions.

Modern technology enables versatile noisemeasurements and more information from noise can be collected and analyzed. This thesis is based on practical noisemeasurements - it examines the differences of two measurement methods and what kind of information is possible to be collected from them. Also data analysis, its interpretation and conclusions made from it were examined.

The most significant outcome of this thesis was the increased understanding of noise, its charactec, behavior, measurements and factors that influence on the measurements. Also differences of the measurementmethods and utilizingpossibilities are now better understood. It was made clear, that existing measurementdevices and -methods are not properly serving the needs of noise prevention and new technology and point of wiew are needed.

## ALKUSANAT

Kiitän työni tarkastajaa professori Jouni Kivistö-Rahnastoa työni ohjaamisesta ja tarkastamisesta. Kiitän esimiestäni ja työni valvojaa, Kari Sainetta Wärtsilästä mielenkiintoisen ja haastavan tutkimusaiheen tarjoamisesta sekä kaikesta opastuksesta ja ennen kaikkea luottamuksesta työni varrella. Erityiset kiitokset haluan osoittaa työsuojeluvaltuutettu Ari Rintalalle, joka omien työkiireidensä keskellä ehti auttamaan minua käytännön mittauksen suorittamisessa. Ilman hänen työpanostaan olisin ollut vaikeuksissa. Haluan kiittää myös kaikkia työni tekoon tavalla tai toisella osallistuneita Wärtsilän Vaasan tehtaan työntekijöitä saamastani avusta ja vinkeistä sekä kärsivällisyydestä mittauksiani kohtaan.

Lisäksi suuri kiitos kuuluu perheelleni, erityisesti vanhemmilleni, jotka ovat tukeneet ja auttaneet minua kaikin mahdollisin tavoin opintojeni alusta alkaen ja erityisesti diplomityöprojektini aikana. Kiitos myös ystävät ja toverit, olette tehneet matkasta diplominsinööriksi ikimuistoisen. Päivääkään en vaihtaisi.

Helsingissä 28.10.2015

Saara Seppänen

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Kohdeyritys .....	2
1.3	Tutkimusongelma.....	4
1.4	Tavoite.....	4
1.5	Tutkimusmenetelmä ja rajaukset.....	5
1.6	Työn rakenne.....	6
2	MELULAINSÄÄDÄNTÖ.....	7
2.1	Lainsäädännöllinen lähtökohta.....	7
2.2	Valtioneuvoston asetus 85/2006 .....	7
2.3	Valtioneuvoston asetuksen 85/2006 vaatimukset .....	9
3	AKUSTIIKAN PERUSTEET .....	13
3.1	Ääni ja melu .....	13
3.1.1	Tasot.....	14
3.1.2	Taajuus ja spektri .....	16
3.1.3	Aikapainotukset .....	18
3.2	Äänilähteet ja äänen eteneminen.....	18
3.2.1	Ilma- ja runkoäänet .....	19
3.2.2	Iskuäänet .....	19
3.2.3	Jälkikaiunta-aika .....	19
3.3	Kuulo ja kuuleminen .....	20
3.4	Melun vaikutukset.....	21
3.4.1	Sisäkorvavaikutukset .....	21
3.4.2	Onnettomuusriski.....	22
3.4.3	Yhteisvaikutukset.....	23
3.4.4	Infraääni ja pientaajuinen ääni .....	23
3.4.5	Häiritsevyys-, ärsytys- ja muut vaikutukset.....	23
3.5	Melun mittaaminen .....	24
3.5.1	Melumittarit .....	24
3.5.2	Mitattavat suureet .....	25
3.5.3	Standardit ja käytännöt .....	26
3.5.4	Mittausongelmat .....	27
3.6	Meluntorjunta.....	29
3.6.1	Melulähteeseen kohdistuvat toimenpiteet.....	29
3.6.2	Äänen leviämisen estäminen koteloinnin ja suojaseinämien avulla..	30
3.6.3	Tilaan kohdistuvat toimenpiteet.....	30
4	TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO.....	32
4.1	Mittalaitteet .....	32
4.2	Mittausten kulku .....	34
4.3	Tulosten käsittely .....	35

5	MITTAUSTULOKSET .....	36
5.1	Kotelotehdas, 5 vaihe .....	36
5.2	Pilot .....	40
5.2.1	Lohko-osakokoonpano.....	40
5.2.2	Genusolu .....	47
5.3	Kiertokankiverstas.....	53
5.3.1	Jäysteenpoistopiste.....	53
5.3.2	Latausasemat 1 ja 3.....	57
5.4	Lohkovalmistus, jäystö .....	61
5.5	Sylinterikansitehdas .....	66
5.5.1	Jäystö .....	66
5.5.2	Koneistus .....	72
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	78
6.1	Tutkimuksen löydökset .....	78
6.2	Tieteellinen uutuusarvo ja käytännön merkitys .....	79
6.3	Tutkimuksen tarkastelu .....	81
7	YHTEENVETO .....	83
	LÄHTEET .....	84

LIITE 1. YHTEENVETOTAULUKKO KESÄLLÄ 2012 TEHTYJEN  
MELUANNOSMITTAUSTEN TULOKSISTA.

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

### **Absorptio**

Äänen vaimeneminen sen edetessä väliaineessa tai heijastuessa rajapinnasta.

### **Alempi toiminta-arvo**

A-painotettu 80 dB:n melutaso mitattuna kuulokkeiden ulkopuolelta, työntekijällä oikeus kuulonsuojaimiin ja mahdollisuus audiometrisiin kuulotesteihin, muttei velvoita työnantajaa suurempiin toimenpiteisiin.

### **Altistumisaika**

Tiettyssä melutasossa oleskeltu aika. Meluvammalle altistavana aikana pidetään 8 h:n oleskelua 85 dB:n a-painotetussa melutasossa.

### **Apoptoosi**

Ohjelmoitu solun kuolema, joka on luonnollinen osa elimistön normaalin toiminnan säätelyä, esimerkiksi vanhat solut kuolevat uusien tieltä apoptoottisesti. Apoptoosi koskee yhtä solua.

### **A-taajuuspainotus**

A-taajuuspainotus on A-suodinta käyttäen mitattu äänenpainetaso, joka pyrkii vastaamaan ihmisen kuulojärjestelmää. A-painotus korostaa puhealueen taajuuksia ja vähentää matalien ja korkeiden taajuuksien merkitystä kokonaiskvivalenttitasoa määritettäessä

### **C-taajuuspainotus**

C-painotus on äänenpainetaso, joka pyrkii vastaamaan ihmisen kuulojärjestelmän reagoitua voimakkailla ja nopeilla, impulssimaisilla äänillä.

### **Desibeli**

Desibeli on äänenvoimakkuuden mittayksikkö. Asteikko on logaritminen, joten desibelejä ei voida suoraan laskea yhteen. Teoreettinen kuulokynnys on 0 dB.

### **Ekvivalenttiäänitaso, keskiäänitaso**

Äänitaso, jossa melun voimakkuuden vaihtelu on huomioitu ja muutettu vastaamaan tasaisesti jatkuvaa melua.

### **Enimmäistaso**

Mittausaikana esiintynyt suurin äänitaso.

### **Impulssimelu**

Impulssimelu on melua, joka sisältää nopeita ja äkillisiä iskuääniä esimerkiksi takomisesta tai ampumisesta johtuen.

**Signaali-kohinasuhde**

Ilmaisee yleensä desibeleinä hyötysignaalin ja ei-toivotun kohinasignaalin tehojen välisen suhteen. Esimerkiksi 3 dB:n signaalikohinasuhde tarkoittaa, että hyötysignaalin tehollisarvo on kaksinkertainen kohinaan nähden. Mitä suurempi signaali-kohinasuhde on, sitä paremmin hyötysignaali on erotettavissa kohinasta ja vastaavasti mitä matalampi signaali-kohinasuhde on, sitä enemmän hyötysignaali peittyy kohinan alle.

**Melu**

Melu on ääntä, joka koetaan häiritseväksi, epämiellyttäväksi tai se on muutoin terveydelle ja kuulolle haitallista.

**Meluallistus**

Tilanne, jossa ihminen on melussa ja sen vaikutuksen kohteena.

**Meluannos**

Ihmisen vastaanottama äänienergia tavallisen 8h:n työpäivän aikana. Raja-arvona käytetään a-painotettu melutasoa 85 dB 8h:n aikana.

**Melutaso, äänenpainetaso**

Äänenpainetaso (sound pressure level, SPL) on logaritminen suure, joka voidaan mitata suoraan melumittarilla. Suure kuvaa äänen voimakkuutta desibeleinä.

**Meluntorjunta**

Kaikki ne toimenpiteet, joilla melutasoa pyritään pienentämään ja torjumaan melusta aiheutuvia vaikutuksia.

**Nekroosi**

Akuutti patologinen solukuolema. Nekroosi on patologinen ja kontrolloimaton tapahtumaketju, joka aiheutuu solun ulkopuolisista, joko fysikaalisista tai kemiallisista tekijöistä. Yleensä nekroosi koskee suurta solujoukkoa.

**Oktaavi**

Kahden äänen välinen taajuusero, joka on aina kaksinkertainen. Esimerkiksi 220 Hz:n taajuista ääntä oktaavin korkeamman äänen taajuus on kaksinkertainen, eli 440 Hz.

**Ototoksinen**

Sisäkorvalle myrkyllinen.

**Peittovaikutus**

Peittoilmiössä ääni häipyä kokonaan tai osittain kuulumattomiin jonkin toisen äänen vaikutuksen vuoksi



**Pysyvyystaso**

Pysyvyystaso kertoo minkä äänitason yläpuolella äänitaso on ollut tietyn ajan koko mittausajasta. Esimerkiksi pysyvyystaso L99 tarkoittaa sitä äänitasoa, joka on ylittynyt 99% mittausajasta ja L50 sitä äänitasoa, joka on ylittynyt 50% ajasta.

**Raja-arvo**

87 dB:n a-painotettu melutaso mitattuna kuulokkeiden sisäpuolelta, velvoittaa työnantajan ryhtymään viipymättä toimenpiteisiin melutason laskemiseksi.

**Spektri**

Äänen jakautuminen komponentteihin taajuuden suhteen.

**Taajuus**

Taajuus kuvaa ilmiön esiintymistiheyttä. Äänen ollessa kyseessä taajuus kuvailee ääniaaltojen tihentymiä ja harventumia väliaineessa, mikä aistitaan korvassa äänen korkeutena.

**Taajuusjakauma**

Katso spektri. Äänen eri taajuuksien suhteellinen jakautuminen toisiinsa nähden.

**Taajuuskaista**

Signaalin taajuusalue.

**Taustamelu**

Mittauskohteissa aina esiintyvää melua, joka johtuu esimerkiksi ilmastoinnista ja työkonoiden käyntiäänistä.

**Terssikaista**

Kolmannes oktaavista.

**Ylempi toiminta-arvo**

85 dB:n a-painotettu melutaso kuulokkeiden ulkopuolelta mitattuna, velvoittaa työnantajan toimenpiteisiin.

**Äänes**

Vain yhtä taajuutta sisältävä ääni.

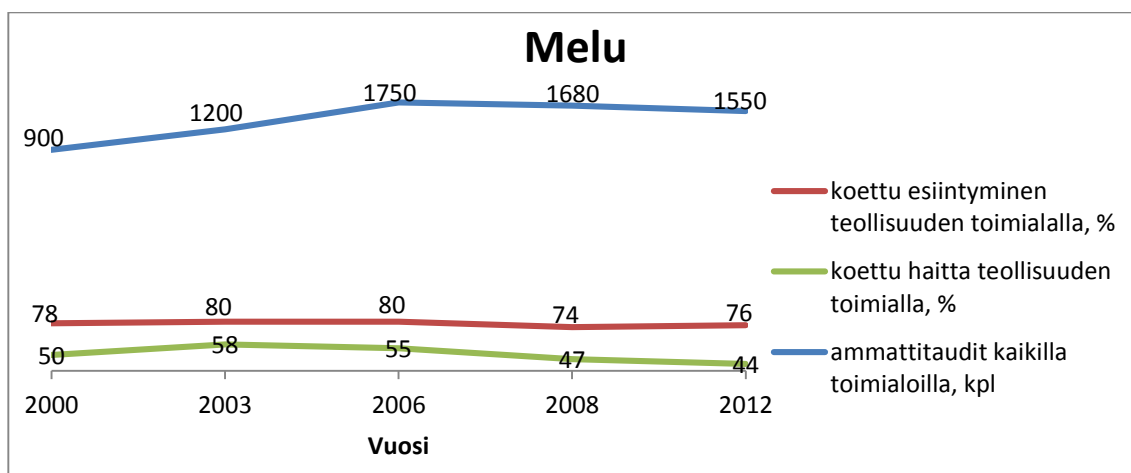
# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Melua ja ääntä on kaikkialla teollistuneessa yhteiskunnassa, niin työpaikoilla, liikenteessä kuin vapaa-ajallakin. Arvioidaan, että noin 480 000 työntekijää altistuu työpaikallaan päivittäin yli 80 dB:n (A) melulle ja noin 190 000 työntekijää yli 85 dB:n (A) melulle (Työterveyslaitos, 2015). Työ ja terveys Suomessa -tutkimuksen mukaan melulle altistuvien työntekijöiden kokonaismäärä on viime vuosina hieman vähentynyt (Kauppinen et al., 2012), mutta teollisuuden työtehtävien parissa melulle altistuneiden määrä on jatkuvasti lievässä kasvussa (Koskinen, 2013). 2000-luvun aikana melulle altistumisen suhteen ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia eri toimialoilla. Edelleen melulle altistutaan eniten kaivosalalla ja rakentamisen sekä teollisuuden parissa. (Kauppinen et al., 2012)

Suomessa työmelu häiritsee noin miljoonaa työntekijää ja yhtä suuri määrä raportoi viestintävaikeuksista (Pääkkönen, 2013). Vuonna 2012 työssä käyvistä 27 % koki melun häiritteijäksi ja 30 %:n mukaan työpaikalla esiintyy tavallista puhetta ja sen kuulemista metrinkin päähän haittaavaa melua. Teollisuuden toimialalla melun häiritsevyyden kokeminen on pysynyt samana (Kauppinen et al., 2012), erityisesti metallituotteiden valmistuksessa melu haittaa vuodesta toiseen, sillä siihen liittyy vaikeasti ratkaistavia ääniympäristöjä. Pienitaajuinen melu (ilmastointi, suuret moottorit) ja erittäin voimakkaat melut esimerkiksi moottorien huollossa aiheuttavat työympäristöön ongelmia.

Ammattitautien aiheuttajista melu on yksi merkittävimmistä ja aiheuttaa suuria kuluja niin yhteiskunnalle kuin yrityksille muun muassa korkeiden vakuutusmaksujen muodossa. Jatkuva altistuminen yli 80 dB:n (A) melulle lisää kuulovaurion riskiä ja aiheuttaa muita fysiologisia vaikutuksia, kuten unihäiriöitä ja hermoston toiminnan kiihtymistä. Suomessa kuulomuutoksista ja/tai tinnituksesta kärsii 160 000 (7 %) työntekijää (Pääkkönen, 2013). Metalliteollisuudessa esiintyy ammattitauteja muuta teollisuutta enemmän ja yleisimpiä niistä ovat meluvammat. Melun aiheuttamia, korvattuja ammattitauteja oli vielä 1980-luvulla noin 2000 tapausta vuodessa. Melutyötä tekevien henkilöiden määrän lasku, automaatioasteen kasvu ja kuulonsuojauksen kehitys on laskenut todettujen tapausten määrän tasaisesti alle tuhanteen vuodessa, mutta silti vuosittain raportoidaan noin 1700 uutta kuulovammaa tai sen epäilyä. (Pääkkönen, 2013; Työterveyslaitos, 2015a). Nykyään työperäisistä sairauksista ja ammattitaudeista melun aiheuttamien määrä on pysynyt vuosia suurin piirtein samana: vuosittain vahvistetaan noin 800 tapausta.



**Kuva 1: Melun esiintyminen, häiritsevyys ja sen aiheuttamien ammattitautien määrä vuosina 2000-2012**

Melualtistumista ja sen aiheuttamia kuulovammoja on pyritty vähentämään meluntorjunnan keinoin, hallinnollisilla säännöksillä (VNa 85/2006), suojaimilla ja työmenetelmillä. Melusäännöksissä on vaatimuksia liittyen tekniseen meluntorjuntaan ja ohjearvon ylittyessä meluntorjuntaohjelman laatimisvelvoite. Tätä velvoitusta on laiminlyöty ja nykyäänkään meluntorjuntaohjelmien laatiminen työpaikoilla ei ole rutiinia.

Meluasetus koskee vain kuulolle vaarallista, yli 80 dB:n (A) melua, kommunikaatiota häiritsevään meluun ei ole olemassa lainsäädäntöä eikä keskittymistä häiritsevän melun osalta normistot ole sitovia. Häiritsevän melun osalta tilanne on vielä huonompi. Työhygieeniset melusuositukset perustuvat nykyään vain melutasoon  $L_{Aeq}$ , vaikka tiedetään häiritsevyyden riippuvan melutasosta ja melun sisältämästä informaatiosta. Melun ajatellaan liian usein olevan työympäristön ominaisuus, pakollinen paha, johon ei voida vaikuttaa eikä sen hallitsemiseksi olla halukkaita työskentelemään. Lisäksi melun vaikutuksia vähätellään, sillä ne eivät näy heti. (Pääkkönen, 2013)

Meluvammojen ja sitä kautta kustannusten vähentämiseksi on olemassa riittävästi tietoa ja taitoa. Ongelma on se, että melusta saatua tietoa ei osata hyödyntää eikä se johda toimenpiteisiin. Työhygieeniset mittausspalvelut eivät vastaa lain edellyttämää tasoa ja siksi tarve olisikin kehittää meluasetuksen vaatimukset täyttäviä, halpoja arviointitekniikoita ja mittausspalveluja. Tarvitaan uutta näkemystä ja uusia työkaluja: akustiikan ohella tarvitaan monialaista näkemystä ihmistieteiden ja tekniikan välimaastosta. (Pääkkönen, 2013)

## 1.2 Kohdeyritys

Tämä diplomityö toteutettiin yhteistyössä Wärtsilä Finlandin kanssa Vaasassa. Wärtsilä on kansainvälisesti johtava merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toi-

mittaja, joka tukee asiakasyrityksiä tuotteiden koko elinkaaren ajan. Wärtsilä maksimoi alusten ja voimalaitosten ympäristötehokkuuden ja taloudellisuuden keskittymällä teknologiin innovaatioihin ja kokonaishyötysuhteeseen. Vuonna 2013 Wärtsilän liikevaihto oli 4,7 miljardia euroa ja yhtiön palveluksessa oli noin 18 700 työntekijää. Yrityksellä on yli 200 toimipistettä lähes 70 maassa eri puolilla maailmaa. Wärtsilän osakkeet on listattu NASDAQ OMX Helsingissä. (Wärtsilä, 2013)

Wärtsilän liiketoiminta on jakautunut kolmeen liiketoiminta-alueeseen. Näitä ovat Power Plants, Ship Power ja Services. PowerTech palvelee sekä Ship Power- että Power Plants-liiketoimintoja ja käsittää keskinopeiden moottoreiden tutkimus- ja kehitystoiminnan sekä valmistuksen, hankintatoiminnon ja laatujohtamisen sekä Operational Excellence -toiminnon. (Wärtsilä, 2013)

### ***Power Plants***

Wärtsilä on nykyaikaisten, ympäristösuorituskyvyltään pitkälle kehitettyjen, tehokkaiden ja dynaamisten voimalaitosratkaisujen johtava toimittaja. Wärtsilä tarjoaa monipolttoainevoimalaitoksia perusvoimantuotantoon, kuormitushuippujen tasaamiseen ja kuormaa seuraavaan tuotantoon, sekä sähköverkkoa vakaavia voimalaitoksia ja huippunopeita varavoimaloita. (Wärtsilä, 2013)

### ***Ship Power***

Wärtsilä tukee asiakkaidensa liiketoimintaa tarjoamalla meriteollisuudessa sekä öljy- että kaasuteollisuudessa toimiville asiakkailleen turvallisia, ympäristömyönteisiä, tehokkaita, joustavia ja taloudellisia ratkaisuja. Asiakkaiden tarpeista lähtevät ratkaisut koostuvat tuotteista, järjestelmistä ja palveluista. (Wärtsilä, 2013)

### ***Services***

Wärtsilä tukee asiakkaitaan järjestelmän koko elinkaaren ajan optimoimalla laitteiston hyötysuhdetta ja suorituskykyä. Sekä energia- että merenkulkumarkkinoilla toimiville asiakkaille tarjotaan toimialan kattavin palveluvalikoima ja laajin palveluverkosto. Wärtsilä on sitoutunut tarjoamaan korkeaa laatua ja asiantuntevaa tukea sekä varmistamaan palvelujen saatavuuden mahdollisimman ympäristöystävällisesti kaikkialla, missä asiakkaat toimivat. (Wärtsilä, 2013)

### ***PowerTech***

PowerTech keskittyy valmistukseen ja tuotekehitykseen vastaten kaikkien neli- ja kaksitahtimoottorien tuotekehityksestä sekä uusien teknologioiden omaksumisesta. Valmistus keskittyy pääasiassa tuotteiden kokoonpanoon, koeajoon ja viimeistelyyn. Tuotevalikoima käsittää keskinopeat moottorit, katalysaattorit ja päästöjen seurantatuotteet. Keskinopeiden päämoottorien tuotanto on keskitetty kahteen toimituskeskukseen, Vaasaan ja Italian Triesteen. (Wärtsilä, 2013) Vaasassa valmistettavia moottoreita ovat dieselkäyttöiset W20 ja W32 moottorit sekä kaasukäyttöinen W34 moottori. W20 moottorin

sylinterihalkaisija on 20 cm ja sen yksi sylinteri tuottaa 200 kW:n tehon. W32 moottori voi olla joko rivi- tai v-moottori, sen sylinterihalkaisija on 32 cm ja yksi sylinteri tuottaa 500 kW:n tehon. W34 moottorin sylinterihalkaisija on 34 cm ja sylinterit voivat olla joko rivi- tai v-muodostelmassa. Lisäksi on olemassa DF-malli eli dual-fuel-moottori, jolla voidaan ajaa sekä kaasulla että dieselillä.

### 1.3 Tutkimusongelma

Wärtsilässä on tehty meluselvityksiä vuosina 1994–1995, jolloin selvitettiin Vaasan tehtaiden melutilannetta ja toteutettiin joitakin meluntorjuntatoimia. Lain tarkoittamaa melukartoitusta ei kuitenkaan ole koskaan tehty kattamaan koko Vaasan keskustan toimipisteen tehdasaluetta. Vuoden 1995 meluprojektin päätyttyä ei Wärtsilässä ole tehty kattavia uusintamittauksia, vaikka vuosien aikana tehtailla on suoritettu uudelleenjärjestelyitä, jotka myös osaltaan vaikuttavat meluolosuhteisiin. Kesällä 2012 kartoitettiin Vaasan keskustan toimipisteiden melutilanne mittaamalla työntekijöiden henkilökohtaisia meluannoksia, joille he altistuvat työpäivänsä aikana.

Tämä diplomityö perustuu näihin kesällä 2012 Wärtsilän Vaasan tehtailla tehtyihin melualtistumittauksiin. Tulokset ylittivät lainsäädännön antamat toiminta-arvot useassa mittauspisteessä. Yhteenvetotaulukossa, joka on tämän työn liitteenä 1, on esitetty mitaustulokset niiden mittauspisteiden osalta, joissa toiminta-arvot ylittyivät. Keltaisella värillä korostetut tulokset ilmaisevat ylemmän toiminta-arvon ylitystä ja vaaleampi väri indikoi alemman toiminta-arvon ylitystä.

Tulokset osoittivat ylemmän toiminta-arvon ylittyvän useassa mittauskohteessa. Työnantaja on täten lainsäädännön nojalla velvollinen ryhtymään toimenpiteisiin, mikä käytännössä merkitsee niin ajallista kuin rahallistakin panostusta työsuojelutoimiin. Myös mitatut  $L_{peak}$ -arvot vaikuttavat hälyttävän korkeilta ja ylittävät jopa kipukynnyksen 130 dB. Tämä vaikuttaa uskomattomalta jopa metalliteollisuuden työtehtävissä.

Saatujen tulosten perusteella herää kysymyksiä tulosten luotettavuudesta ja koko nykyisen mittausten menetelmän käyttökelpoisuudesta. Mitataanko oikeaa asiaa? Kertooko yksi luku todella riittävästi päivän tapahtumista? Miten työntekijän oma käyttäytyminen vaikuttaa mittaustuloksiin? Onko jo tehty kaikki mahdollinen melun vähentämiseksi vai olisiko vielä mahdollista kehittyä meluntorjunnassa?

### 1.4 Tavoite

Työssä syvennyttään teollisuudessa yleisesti käytössä olevaan melun mittaus- ja analysointikeinoon ja pyritään kehittämään sitä uuden teknologian mahdollistamin keinoin. Tekniikan kehitys on tuonut markkinoille uusia mittalaitteita, kuten tässä työssä käytetävän APL Systemsin Aures dataloggerin. Työn tavoitteena on selvittää voidaanko uu-

silla mittalaitteilla saada parempi käsitys siitä, millaiset meluolosuhteet kohdeyrityksen tietyissä mittauspisteissä todellisuudessa on ja miten eri tekijät vaikuttavat tuloksiin. Tarkoitus on verrata olemassa olevaa, yleisesti käytettyä mittausmenettelyä ja uudemman teknologian mahdollistamaa mittauskeinoa toisiinsa, ja tulosten perusteella tehdä päätelmiä siitä, soveltuuko Auresin kaltainen mittalaite metalliteollisuuden käyttötarkoituksiin ja miten mittauksia jatkossa kannattaisi tehdä.

Tavoitteena on myös selvittää millaista tietoa uuden mittausmenettelyn avulla on mahdollista saada ja miten sitä voidaan hyödyntää. Voidaanko eri mittauspisteissä vallitseva oloja vertailla, ja kenties tehdä tarkempia johtopäätöksiä siitä, millaista melu on ja mikä sen aiheuttaa? Minkälaisia vaikutuksia meluntorjunnassa voidaan saavuttaa uudenlaisen mittausmenetelmän avulla?

## 1.5 Tutkimusmenetelmä ja rajaukset

Tutkimus on luonteeltaan empiirinen ja vertaileva. Tutkimustulokset saadaan tekemällä havaintoja tutkimuskohteesta ja mittaamalla sekä analysoimalla sitä. Konkreettinen ja tutkimusta varten koottu aineisto toimii tutkimuksen tekemisen ytimenä ja lähtökohtana. Empiirisen tutkimuksen vaiheita ovat aineiston kerääminen, käsitteleminen ja tulosten analysointi. Vertailevan tutkimuksen tarkoitus on selvittää vertailun kohteiden yhtäläisyyksiä ja eroja. Vertailtavana voivat olla esimerkiksi erilaiset tapaukset tai prosessit, jotka ovat jollain tapaa yhteismitallisia ja täten vertailukelpoisia.

Käytännössä tämä tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena taustalla olevaan teoriaan ja empiirisiin melumittauksina kahdella erilaisella menetelmällä, sekä haastatteleamalla mittauksiin osallistuneita työntekijöitä. Mittaukset suoritettiin Wärtsilän Vaasan tehtailla loppuvuodesta 2013. Joitakin mittauksia tehtiin vielä tammikuussa 2014. Jälkikäyntä-aikamittaukset on suoritettu kesällä 2012, kuten myös aiemmat vertailukohtana olevat melumittaukset.

Työpisteissä mitattiin eri työtehtävien melutasoja. Jo näistä pisteistä saatiin runsaasti mittausdataa, joten koko tehtaan kattavia mittauksia ei ollut järkevää, eikä edes mahdollista tehdä. Työssä on rajoitettu tarkastelemaan ainoastaan aiempien mittausten ja työntekijöiden kanssa käytyjen keskusteluiden perusteella esiin nousseita työpisteitä, joissa melu on selkeästi tunnistettu ongelmaksi. Näitä pisteitä olivat kiertokankitehdas, sylinterikansitehdas, lohkokoneistus, Pilot-kokoonpano ja moduulitehdas.

Työn painopiste on eri mittausmenetelmien vertailussa ja uuden mittausmenettelyn kehittämisessä uutta saatavilla olevaa teknologiaa hyödyntäen. Tarkoituksena ei ole paneutua meluntorjuntatoimenpiteiden suunnitteluun, joten siksi niitä ei tässä työssä syvällisesti käsitellä, joskin saatujen mittaustulosten puitteissa joitakin jatkotoimenpitehdotuksia esitetään.

## 1.6 Työn rakenne

Työ jakaantuu kahteen osaan: kirjallisuusselvitykseen pohjautuvaan teoriaosuuteen ja kokeelliseen, mittauksiin perustuvaan osuuteen. Teoriaosuuden tarkoitus on antaa lukijalle riittävä käsitys työn taustasta ja perustiedot akustiikasta, jotta työn lukeminen olisi asiaan perehtymättömällekin henkilölle mahdollista. Empiirinen osuus käsittelee sitä miten tutkimus toteutettiin käytännössä, tuloksia ja niistä tehtäviä johtopäätöksiä.

Työ koostuu kuudesta luvusta. Teoriaosuuden alussa luvussa 2 käsitellään meluun liittyvää lainsäädäntöä. Kappaleessa sivutaan niin laitteiden valmistajien kuin niiden hankkijankin velvollisuuksia pääpainon ollessa kuitenkin työnantajaa sitovassa meluasetuksessa. Tämän jälkeen luvussa 3 tutustutaan työn taustalla olevaan teoriaan akustiikasta ja käsitellään melun vaikutusta ihmisiin, erityisesti kuuloon sekä kerrotaan tarkemmin melun mittaamisesta eli mitattavista suureista, mittalaitteista, standardeista ja tunnetuista mittaongelmista. Luvussa sivutaan myös lyhyesti meluntorjunnan eri keinoja, mutta nämä eivät ole työn aihe, joten niihin ei paneuduta syvällisesti. Luvusta 4 alkaa työn empiirinen osuus ja tässä luvussa perehdytään käytännön melumittauksiin ja siihen, miten ne tätä työtä varten suoritettiin. Luvussa 5 esitellään mittauksista saadut tulokset ja päätelmät niistä. Luvussa 6 tarkastellaan tutkimuksen keskeisiä löydöksiä suhteessa tavoitteisiin, tulosten uutuusarvoa niin tieteellisessä kuin käytännöllisessä mielessä ja arvioidaan tutkimuksen onnistumista. Lopuksi luku 7 summaa tutkimuksen yhteen.

## **2 MELULAINSÄÄDÄNTÖ**

### **2.1 Lainsäädännöllinen lähtökohta**

Meluun liittyvä lainsäädäntö pohjautuu työturvallisuuslainsäädäntöön ja on kehittynyt ajan kuluessa omaksi laikseen. Työsuojeluun liittyvien lakien tarkoituksena on turvata työntekijöitä ja samalla ohjata työnantajia toimimaan vallitsevien turvallisuuskäsitysten mukaisesti.

Työturvallisuuslaissa (738/2002) säädetään työpaikan fysikaalisista tekijöistä ja niille altistumisesta, kuten melusta. Lain 39 §:n mukaan työntekijöiden altistumista melulle on rajoitettava niin, ettei melusta aiheudu työntekijälle ja tämän terveydelle haittaa tai vaaraa.

Valtioneuvoston asetus työssä käytettävien koneiden ja muiden työvälineiden hankinnasta, turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (VNa 856/1998) 19 § edellyttää sitä, että työvälineen käytöstä aiheutuvan melun haitalliset terveys- ja turvallisuusvaikutukset on poistettava ja jollei tämä ole mahdollista, on vaikutuksia vähennettävä haittaa tai vaaraa aiheuttamattomalle tasolle. Viimeisenä keinona haittavaikutuksia vastaan on käytettävä henkilökohtaisia suojaimia, mikäli muut torjuntakeinot eivät ole olleet mahdollisia.

Valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta, VNa (400/2008), määritellään koneen valmistajaa koskevat meluun liittyvät velvoitteet. Kone pitää suunnitella siten, että sen melupäästöistä tai tärinästä aiheutuvat vaarat on vähennetty alhaisimmalle mahdolliselle tasolle käyttäen hyväksi tekniikan kehityksen tuomat mahdollisuudet ja käytössä olevat keinot vähentää melua ja tärinää erityisesti lähteeseen kohdistuvoin keinoin. (VNa 400/2008)

Työturvallisuuslakia yksityiskohtaisemmin melusta säädetään valtioneuvoston asetuksessa Vna 85/2006 työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta. Meluasetuksen, VNa (85/2006), tarkoitus on suojella työntekijöitä työssä esiintyviltä vaaroilta ja haitoilta, jotka johtuvat tai saattavat johtua melusta. Asetusta sovelletaan kaikkeen työturvallisuuslain piirissä olevaan työhön.

### **2.2 Valtioneuvoston asetus 85/2006**

Euroopan unionissa 2003 asetetun ja kaikkia jäsenmaita sitovan meludirektiivin 2003/10/EY pohjalta on Valtioneuvosto säätänyt työturvallisuuslain 738/2002 39 §:n



nojalla säätänyt 22 §:stä koostuvan meluasetuksen VNa 85/2006. Asetuksessa melualtistumisen määrittäminen pohjautuu kansainväliseen ISO 1999:2013 standardiin.

### **1 § - 5 §**

Asetus koskee kaikkia työturvallisuuslain puitteissa suoritettavia töitä. Melurajoiksi asetuksessa määritetään taulukon 1 mukaiset toiminta- ja raja-arvot. Päivittäisen altistumisen (8h) alempi toiminta-arvo on 80 dB (A) ja ylempi toiminta-arvo 85 dB (A). Huomioitaessa kuulosuojainten vaimennus, on melun raja-arvo 87 dB (A). Mikäli melu on luonteeltaan hyvin vaihtelevaa, on viikoittaisen altistuksen raja-arvo 87 dB (A).

**Taulukko 1: melualtistuksen toiminta- ja raja-arvot (VNa 85/2006)**

	<b>LAeq</b>	<b>LCpeak, max</b>	<b>Huom.</b>
Alempi toiminta-arvo	80 dB	135 dB	Kuulosuojainten päältä
Ylempi toiminta-arvo	85 dB	137 dB	Kuulosuojainten päältä
Raja-arvo	87 dB	140 dB	Kuulosuojainten sisällä

### **6 § - 11 §**

Työnantaja on velvollinen selvittämään työntekijöiden mahdollisen altistumisen melulle ja tunnistettava melun aiheuttajat. Asetuksessa määrätään myös melun mittaamisen ja arvioinnin menetelmistä. Arvioinnin tuloksena saadut altistustiedot vaaditaan säilyttämään. Työnantajan velvollisuus on myös tehdä meluriskien arviointi.

### **12 § - 14 §**

Altistuksen ennaltaehkäisy ja vähentäminen. Mikäli tehdyn melukartoituksen mukaan altistusarvot ylittyvät, määritellään asetuksessa vaadittavat toimenpiteet altistustasojen mukaisesti.

### **15 § - 16 §**

Jos altistumismittausten tulokset ylittävät ylemmän toiminta-arvon 85 dB:ä (A), on laadittava meluntorjuntaohjelma riskienarvioinnin perusteella. Huomioitavaa on etenkin ennaltaehkäisevät ja melun vähentämiseen tähtäävät toimenpiteet, sekä meluriskeille erityisen alttiit työntekijät.

### **17 § - 18 §**

Mikäli meluntorjuntatoimenpiteitä on jo suoritettu, mutta työntekijällä silti havaitaan työmeluperäinen meluvamma, on toimenpiteet tarkistettava. Asetuksessa eritellään ne alueet, joista työnantajan on annettava työntekijöille opastusta, mikäli päivittäinen melualtistus ylittää alemman toiminta-arvon 80 dB:ä (A).

### **19 § - 22 §**

Työnantajan ja työntekijöiden välisestä yhteistoiminnasta ja tiedottamisesta säädetään erikseen. Asetuksessa on säädetty erikseen poikkeuksista liittyen kuulosuojainten käytämisestä aiheutuviin suurempiin turvallisuusriskeihin.

Työnantaja on siis velvollinen selvittämään työpaikan melutilanteen tietyin mittausmenetelmin. Selvityksen perusteella työnantajan on poistettava vaarat, jotka aiheutuvat melusta ja sille altistumisesta. Jos vaarojen poistaminen ei ole mahdollista, on vaarat vähennettävä siedettävälle tasolle. (VNa 85/2006)

Mikäli työpaikalla esiintyvää melua ei voida poistaa, on työpaikalla suoritettava melumittauksia altistumistason selvittämiseksi. Meluasetuksessa annetaan konkreettiset raja-arvot, joiden mukaan altistumista voidaan arvioida ja joiden mukaan määritellään tarvittavat toimenpiteet. Alemman toiminta-arvon, 80dB (A), ylittyessä työntekijällä on oikeus saada käyttöönsä kuulonsuojaimet ja päästä kuulontutkimuksiin. Ylemmän toiminta-arvon, 85 dB (A), ylittyessä työnantajan on annettava työntekijän käyttöön henkilökohtaiset kuulonsuojaimet, joita työntekijän myös on käytettävä. Lisäksi alueet, joilla ylempi toiminta-arvo ylittyy, on merkittävä ja rajattava sekä rajoitettava niille pääsyä, mikäli se on mahdollista. Työnantajan on myös laadittava meluntorjuntaohjelma. Raja-arvon, 87 dB (A), ylittyessä työnantajan on viipymättä ryhdyttävä toimenpiteisiin melu-altistuksen vähentämiseksi siedettävälle tasolle. (VNa 85/2006)

## **2.3 Valtioneuvoston asetuksen 85/2006 vaatimukset**

### ***Melukartta***

Työnantajan on selvitettävä työntekijöiden altistuminen melulle ja tunnistettava melua aiheuttavat tekijät. Käytännössä siis työnantajan on laadittava melukartta, josta selviää ne tilat, joissa työntekijät voivat altistua melulle. Kartan perusteella voidaan myöhemmässä vaiheessa helposti selvittää ne alueet, jotka täytyy sisällyttää meluntorjuntaohjelmaan.

### ***Henkilökohtaiset melumittaukset***

Työnantajan on arvioitava ja mitattava työntekijöiden melulle altistuminen. Arviointi voidaan suorittaa melukarttojen avulla, mutta arviointien tarkkuuden osoittamiseksi on tarpeellista suorittaa työntekijöille henkilökohtaisia meluannosmittauksia todellisen altistumisen varmistamiseksi. Näiden perusteella voidaan eri työntekijäryhmien meluannosta arvioida ja vertailla.

### ***Mittausmenetelmät***

Altistumisen mittaus ja arviointi on suoritettava kohteeseen soveltuvin menetelmin tehtävään perehtyneen asiantuntijan toimesta. Menetelmien avulla tulee pystyä määrittämään äänen huippupaine sekä päivittäinen ja viikoittainen melualtistus. Mittauksissa on

myös huomioitava mitattavan melun, mittalaitteiston ja työympäristön ominaisuudet sekä altistuksen kesto. Käytännössä altistusta arvioitaessa täytyy ottaa riittävä otos meluannosmittauksia eri työntekijäryhmistä. Yhdessä melukartan ja meluannosmittausten perusteella voidaan jokaisen työntekijän melulle altistuminen arvioida.

### ***Altistustiedot***

Mittaustulokset ja arvioinnit on säilytettävä asianmukaisesti dokumentoituna ja riittävän pitkän aikaa. Tiedot tulee dokumentoida selkeästi niin, että niitä on myös helppo päivittää.

### ***Riskien arviointi***

Mikäli työntekijöiden melualtistuksen raja-arvot ylittyvät, on näissä työskentelytiloissa tehtävä järjestelmällinen ja dokumentoitu riskienarviointi melusta aiheutuvien haitta- ja vaaratekijöiden osalta. Tämä riskienarviointi on myös pidettävä ajan tasalla mikäli tiloissa tai työntekijöiden terveydessä tapahtuu muutoksia. Riskienarvioinnin tulosten pitää olla kaikkien työntekijöiden saatavilla ja tuloksista on informoitava työhönohjaamisen yhteydessä. Riskienarviointia tehtäessä on huomioitava seuraavat seikat:

- altistuksen taso, tyyppi ja kesto suhteessa raja-arvoihin
- altistuksen jatkuvuus
- melun aiheuttamat välilliset vaikutukset työturvallisuuteen
- teknisten laitteiden valmistajien ilmoittamat melutiedot verrattuna mitattuihin melutasoihin
- keskeytykö työstä johtuva melualtistus varsinaisen työajan päätyttyä
- mahdollisuus käyttää kuulonsuojaimia
- melulle erityisen alttiit työntekijät
- sisäkorvalle myrkyllisten aineiden ja melun yhteisvaikutukset
- muut riskienarvioinnin kannalta oleelliset asiat

### ***Altistumisen ennaltaehkäiseminen ja vähentäminen***

Mikäli melulähdettä ei voida poistaa ja näin vähentää melualtistusta, on melualtistusta vähennettävä teknisin toimenpitein tai työtapoja muokkaamalla niin, että altistus saadaan pienennettyä mahdollisimman alhaiselle tasolle. Huomioitavia seikkoja:

- altistuksen vähentäminen työmenetelmin
- vähämeluiset työkonet ja -välineet
- työpisteen ja -koneiden kunnossapito ja huolto
- työpisteiden suunnittelu
- koneiden ja työvälineiden käytön opastaminen
- melualtistuksen keston ja voimakkuuden rajoittaminen
- työnsuunnittelu niin, että melualtistus vähenee tai keskeytyy välillä
- melun tekninen torjuminen
- taukotilojen hyvät olosuhteet

### ***Toimenpiteet arvojen ylittyessä***

Kun meluallistuksen alempi toiminta-arvo 80 dB (A) tai äänen huippupaineen alempi toiminta-arvo 135 dB (C) ylittyy, on työnantajan velvollisuus toimittaa työntekijöiden saataville henkilökohtaiset kuulonsuojaimet. Meluallistuksen ylemmän toiminta-arvon 85 dB (A) tai äänen huippupaineen arvon 137 dB (C) ylittyessä on työnantajan velvollisuus toimittaa työntekijöille henkilökohtaiset kuulonsuojaimet JA varmistaa niiden asianmukainen käyttö. Lisäksi alueet, joilla ylemmät toiminta-arvot ylittyvät on merkittävä ja niille pääsyä on rajoitettava. Raja-arvojen ylittyessä on työnantajan viipymättä selvitettävä syy ja tarkistettava ennaltaehkäisevät toimenpiteet sekä tehtävä tarvittaessa muutoksia.

### ***Meluntorjuntaohjelma***

Meluntorjuntaohjelmalla tavoitellaan meluallistuksen vähentämistä kehittämällä työympäristöä ja se koskee niitä tiloja, joissa altistus ylittää ylemmän toiminta-arvon. Meluntorjuntaohjelmassa painopiste on melun ennaltaehkäisyssä ja vähentämisessä listatuissa asioissa.

### ***Toimenpiteiden tarkkailu***

Mikäli jollakin työntekijällä todetaan työstä aiheutunut meluvamma, on työnantajan tarkistettava kaikkien työntekijöiden melulle altistuminen, arvioitava ennaltaehkäisevät toimet ja tehtävä tarvittavat muutokset. Muutokset ja toimenpiteiden tarkistaminen tulee tehdä ammattilaisen toimesta. Jos lisäältumisen vaaraa ei voida poistaa, täytyy työntekijä siirtää muihin tehtäviin.

### ***Työntekijöiden opastus, yhteistoiminta ja terveydentilan seuranta***

Työhön perehdytyksen ja opastuksen yhteydessä on annettava opetusta ja ohjausta melusta ja meluallistuksen ehkäisystä. Erityisesti seuraavia seikkoja on käsiteltävä:

- työpaikan melusta aiheutuvien riskienarvioinnin tulokset
- meluvaarojen ja -haittojen luonne
- meluolosuhteet ja meluvaarojen sekä -haittojen poistamisesta
- meluallistuksen toiminta- ja raja-arvot
- meluallistuksen mittaustulokset, arvioinnit ja merkitys
- kuulonsuojaus
- melusta aiheutuvat oireet ja vammat sekä niistä ilmoittaminen
- turvalliset työtavat meluallistuksen vähentämiseksi
- työterveyshuolto

Yhteistoiminnan lähtökohta on se, että työntekijät ja työnantaja yhdessä voivat vaikuttaa työpaikan olosuhteisiin. Työsuojelun yhteistoiminta mahdollistaa työntekijöiden vaikutusmahdollisuudet työpaikan turvallisuutta koskeviin asioihin.

Työntekijöiden kuuloa on seurattava, mikäli meluallistus ylittää ylemmän toiminta-arvon. Alemman toiminta-arvon ylittäessä on työntekijällä oltava mahdollisuus ennaltaehkäisevään kuulotestiin. Kuulonseurannan tavoite on havaita kuulovammat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin eteneminen voidaan vielä pysäyttää. Myös melulle erityisen alttiit ryhmät on hyvä löytää ajoissa.

## 3 AKUSTIIKAN PERUSTEET

### 3.1 Ääni ja melu

Ääni on aaltoliikettä, joka etenee jossakin väliaineessa. Tyypillisin väliaine on ilma, mutta myös neste tai kiinteä aine voivat toimia väliaineena. Ääni syntyy, kun äänilähde saatetaan värähtelemään ja ilmaan syntyy näin molekyylien tihentymiä ja harventumia. Aaltoliike etenee väliaineessa ja sen saapuessa korvaan se aistitaan äänenä. (Starck & Teräsvirta, 2009) Äänellä ja melulla, eikä niiden syntytavalla ei ole fysikaalisia eroja. Kaikki melu on ääntä, mutta kaikki ääni ei ole melua. (Lahti, 1995)

Paineen muutokset aiheuttavat korvassa kuuloaistimuksen ja tämän takia tarkasteltaessa ihmisen kuuloa ja melun vaikutuksia, riittää että tarkastellaan vain painetta. Myös tavallisin äänisignaalin mittauksissa käytettävä anturi, mikrofoni, on tyypiltään paineanturi ja sen toiminta perustuu ilmanpaineen tasojen vaihteluun ja näiden mittaamiseen. (Lahti, 1995; Rossing et al., 2002) Ihmiskorvassa tapahtuvan ääniaistimuksen fysikaaliseen kuvailuun tarvitaan käsitystä äänen kolmesta ulottuvuudesta: äänen voimakkuudesta eli tasosta, äänen taajuudesta ja ajasta. (Lahti, 1995)

Äänen voimakkuus on äänipaineen laajuus, eli äänen amplitudi, ilmoitettuna joko absoluuttisena fysikaalisena suurena tai logaritmisena desibelitasona. Voimakkuuden kuvailussa käytetään yleensä erilaisia taso-käsitteitä, esimerkiksi tavallisesti käytettyjä ovat äänipainetaso ja äänitehotaso. Eri tasoja ei pidä sekoittaa toisiinsa, sillä ne kuvailevat eri asioita. (Lahti, 1995) Näistä kerrotaan tarkemmin luvussa 4.1.1.

Äänen taajuus kuvailee äänen korkeutta. Pienitaajuisen äänen ihminen aistii matalana ja suuritaajuisen korkeana. Äänen taajuuden yksikkö on Hertsi (Hz). (Lahti, 1995; Starck & Teräsvirta, 2009) Taajuudesta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.1.2. Mikäli melu ei ole tasaista, tarvitaan aikaulottuvuutta esimerkiksi melun keston tai vaihtelun toistumisjakson tarkasteluun. (Lahti, 1995)

Ääntä, joka koetaan häiritseväksi, epämiellyttäväksi tai terveyttä ja kuuloa vaurioittavana kutsutaan meluksi (Starck & Teräsvirta, 2009). Melu yleensä myös haittaa työntekeä ja kommunikointia tai sitä pidetään ei-toivottuna. Melun on tutkittu olevan yksi työympäristön merkittävimmistä ongelmista ja sitä vaimentamalla voidaan vaikuttaa työympäristön viihtyvyyteen sekä työntekijöiden tuottavuuteen. (Työmelu, 2007) Melu voi olla jatkuvaa, satunnaista tai impulssimaista. Satunnainen melu sisältää kaikkia taajuuksia,

kun taas impulssimaiselle melulle tyypillistä ovat iskumaiset, lyhyet ja voimakkaat äkilliset äänet.

Melun epämiellyttävyys ei ole yksikäsitteinen asia, vaan kokemus on aina subjektiivinen ja riippuu ihmisen persoonallisuudesta ja mieltymyksistä. Eri ihmiset voivat aistia saman äänen toinen meluna ja toinen miellyttävänä, vaikka kyse olisi voimakkaistakin äänistä tai esimerkiksi tietyistä musiikkilajeista. Melun häiritsevyyden fysikaalinen mittaaminen on hankalaa, koska melun voimakkuuden ja muiden ominaisuuksien lisäksi koettuun häiritsevyyteen vaikuttavat myös kuulijan herkkyys, aiemmat kokemukset ja asenteet melun lähdettä kohtaan. Aina terveydelle haitallista ääntä ei edes pidetä häiritsevänä, esimerkiksi konserteissa, vaikka tiettyjen raja-arvojen ylittyessä ääni muuttuu terveydelle haitalliseksi ja vaikuttaa kuuloon. Yleensä kuitenkin meluna pidetään esimerkiksi liikenteen ja teollisuuden aiheuttamia ääniä. (Starck & Teräsvirta, 2009)

### 3.1.1 Tasot

Kaikki akustiikassa käytössä olevat tasot ovat 10-kantaiseen logaritmiin perustuvia suureita, joiden yksikkö on desibeli, dB. Käytettäessä desibeliä on myös mainittava käytettävä tasosuure, sillä esimerkiksi ilmaisu ”ääni oli 100 dB” kertoo yhtä vähän kuin ilmaisu ”pöytä oli 1 m”. Pöydän tapauksessakin on ilmoitettava tarkoitetaanko korkeutta, pituutta vai leveyttä ja sama koskee ääntä. Vakiintunut käytäntö on kuitenkin se, että tarkoitetaan äänenpainetasoa, ellei muuta mainita. (Lahti, 1995)

Logaritmisten tasosuureiden käyttöön akustiikassa on kaksi syytä, jotka johtavat ihmisen kuuloaistista. Ihmisen kuuloaisti toimii logaritmisesti kahdessa mielessä: sen herkkyys- eli dynamiikka-alue ulottuu hyvin monen kertaluokan eli dekadin yli ja se aistii äänenpainetason samansuuruiset suhteelliset muutokset yhtä suurina. (Lahti, 1995). Ihminen havaitsee noin 2-3 dB suuruisen muutoksen melutasossa. Melun koetaan kaksinkertaistuvan melutason muuttuessa 8–10 dB (Borenus et al., 1981; Lahti, 1995).

#### *Äänipainetaso/äänenpainetaso*

Äänipainetaso määrittelee ihmisen kokeman kuuloaistimuksen ja niistä aiheutuvien haittojen ja häiritsevyyden suuruuden. Äänitasomittarilla eli ns. melumittarilla mitataan havaintopisteessä vallitsevaa äänenpainetasoa. Tähän suureeseen vaikuttaa sekä äänilähteen ääniteho, lähteen ja havaintopisteen välinen etäisyys että ympäristön ominaisuudet, kuten esimerkiksi jälkikaiunta-aika.

Äänenpainetaso  $L_p$  määritellään äänenpaineen ja referenssipaineen  $p_0 = 20 \mu Pa$  välisenä suhteena seuraavasti kaavassa 1 (Borenus et al., 1981):

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

missä  $p$  on tarkasteltava äänipaine ja  $p_0 = 20 \mu Pa$  on logaritmimuodon vaatima paineen vertailuarvo, joka on peräisin ihmisen kuulokynnyksestä. Normaalikuuloisella ihmisellä kuulokynnys on keskitaajuuksilla, 1 kHz:n tienoilla, noin  $20 \mu Pa$ :n kohdalla (Rossing et al., 2002).

Arvioitaessa äänen voimakkuutta ja melun haitallisuutta, on äänitaso tärkeä termi. Se on vakiintunut ilmaisu käsitteelle taajuuspainotettu äänenpainetaso ja sisältää tiedon, että äänenpainetaso on taajuuspainotettu jollakin painotussuotimella. Käytännössä kyseessä on lähes aina A-painotettu äänenpainetaso, sillä se on saanut ylivoimaisen aseman lähes ainoana käyttökelpoisena painotuksena. Ilmaisut A-painotettu äänenpainetaso, A-äänitaso ja ääni/melutaso ovat siis synonyymeja. (Lahti, 1995)

### ***Ekvivalenttitaso***

Äänenpainesignaalin tehollisarvon tasolle on annettu oma nimi: ekvivalenttitaso  $L_{eq}$  joka on äänipaineen signaalitehon taso eli toisin sanoen signaalin tehollisarvon taso (Lahti, 1995). Ekvivalenttitaso  $L_{eq}$  kuvaa tietyllä mittausjaksolla vaihtelevan äänitason energiaa muutettuna vastaamaan saman energian omaavaa äänitason, joka jatkuisi koko ajan samansuuruisena (Smith et al., 1996). Ekvivalenttitaso määritellään seuraavan kaavan 2 mukaisesti

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt = 20 \lg \sqrt{\frac{1}{T} \int_T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt} \quad (2)$$

Usein kuitenkin esiintyy väärinkäsityksiä siitä, että ekvivalenttitaso olisi melun äänitason tavallinen keskiarvo. Näin ei kuitenkaan ole, vaan määritelmään sisältyvä neliöön korotus aiheuttaa sen, että keskimääräistä suuremmat, hetkellisetkin, äänenpaineet korostuvat lopputuloksessa.

Ekvivalenttitason määrittämisessä käytetään tavallisesti integroivaa äänitasomittaria, joka laskee äänenpainesignaalin integraalin automaattisesti. Ekvivalenttitasoa käytetään arvioitaessa melun aiheuttamia haittoja: ympäristömelun häiritsevyyttä tai työmelun kuulovaurion vaaraa ja tällöin käytetään A-taajuuspainotettua arvoa. (Lahti, 1995)

### ***Äänialtistustaso***

Äänialtistustason,  $L_E$ , käsitettä tarvitaan ekvivalenttitason sijasta silloin, kun tarkastellaan aikarajoitettua äänenpainesignaalia. Aikarajoitetun äänitapahtuman energiaa kuvataan äänialtistustasolla samassa mielessä kuin ekvivalenttitasolla kuvataan jatkuvan ilmiön tehoa. Ekvivalenttitaso ymmärretään usein virheellisesti *meluannoksen* mitaksi, mutta täsmällisesti äänialtistustaso edustaa sitä. (Lahti, 1995)



Tapahtuman äänialtistustaso ja ekvivalenttitaso ovat samat, jos tapahtuman kesto normalisoidaan 1 sekunniksi. Yleensä integroivat äänitasomittarit antavat suoraan myös äänialtistustasot ekvivalenttitasojen lisäksi. Äänialtistustaso on perustasosuure tutkittaessa kertaluonteisia tapahtumia, kuten ajoneuvon tai junan ohiajoa taikka lentokoneen ylilentoa. Sen avulla voidaan myös selvittää lukuisista erilaisista yksittäisistä tapahtumista koostuvan kokonaisilmiön ekvivalenttitaso tai sen eri osuudet. (Lahti, 1995; Smith et al., 1996)

### 3.1.2 Taajuus ja spektri

Äänen taajuus ilmentää äänen korkeutta ja sen yksikkö on hertsi, Hz. Taajuus ilmaisee tiheytymien ja harventumien määrän sekuntia kohti. Ilmanpaineen vaihtelu eli tiheytyvät ja harventumat saavat korvassa olevan rumpukalvon värähtelemään ja saavat näin aikaan kuuloaistimuksen. Tiheä värähtely, eli suuritaajuuksinen värähtely, koetaan korkeaksi ääneksi ja vastaavasti pienitaajuinen värähtely koetaan matalaksi ääneksi. (Lahti, 1995) Taajuus puolestaan on kääntäen verrannollinen äänen aallonpituuteen kaavan 3 mukaisesti

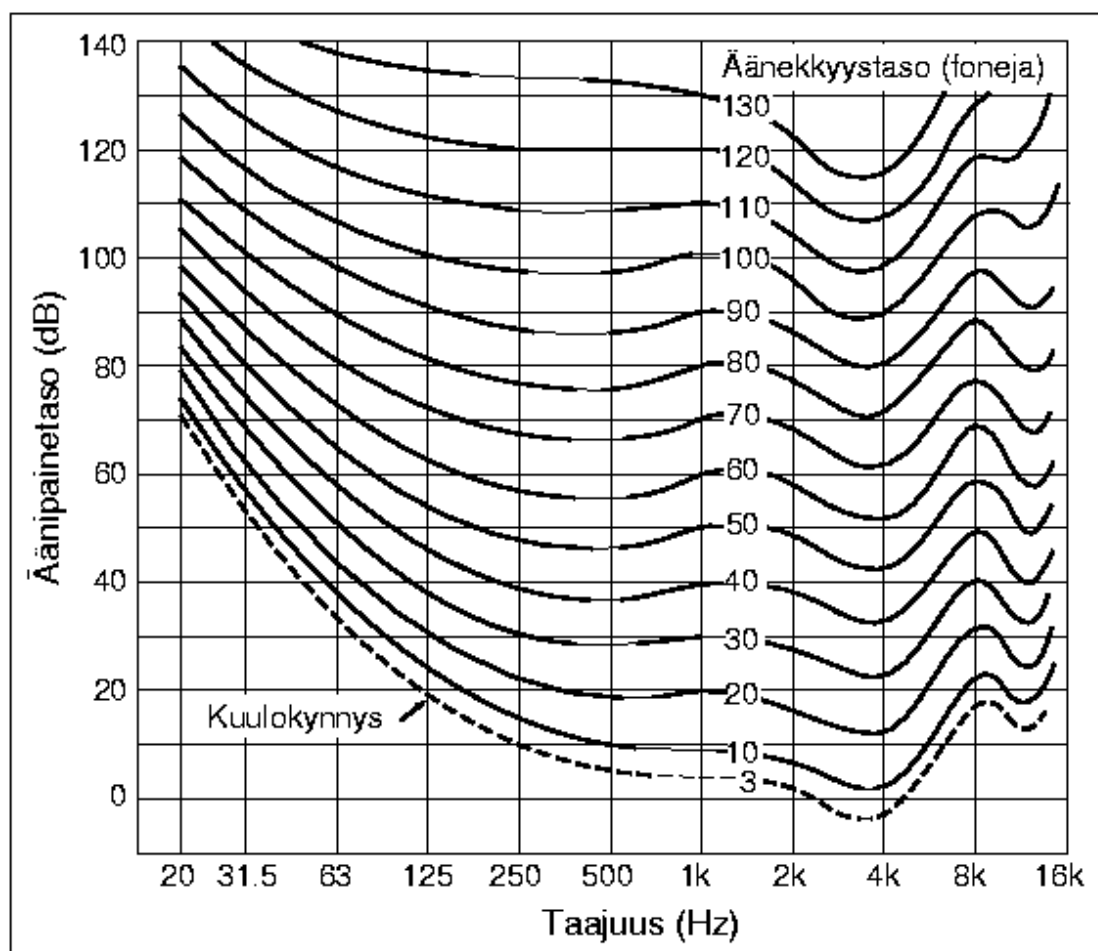
$$\lambda = c / f \quad (3)$$

jossa  $\lambda$  on aallonpituus,  $c$  äänen nopeus ilmassa (344 m/s) ja  $f$  äänen taajuus hertseinä (Borenus et al., 1981). Melun aallonpituus ja täten myös taajuus ovat merkittäviä asioita meluntorjunnassa, sillä melun etenemiseen voidaan vaikuttaa äänen aallonpituuden suhteen riittävän suurilla rakenteilla, joihin ääniaallon eteneminen pysähtyy.

Ääni koostuu tavallisesti useasta eri taajuudesta, eikä vain yksittäisistä ääneksistä. Siksi on tarpeellista selvittää, mitä taajuuksia äänestä löytyy ja miten äänen voimakkuus on jakautunut eri taajuuksien suhteen. (Smith et al., 1996) Tätä kuvataan äänen spektrillä eli taajuusjakaumalla. Jakauma jaetaan osiin, taajuuskaistoihin, koska eri äänilähteiden synnyttämät äänenpainetasot eri taajuuksilla ovat erilaisia. Jakona voidaan käyttää joko oktaavi- tai terssikaistajakoa. Yksi terssi on kolmannes oktaavikaistasta ja kuvaa äänen ominaisuuksia tarkemmin, sillä spektri jakautuu tällöin pienempiin osiin. Oktaavikaistan kaistanleveys on noin 70 % keskitaajuudesta ja terssikaistan kaistanleveys noin 23 %. (Lahti, 1995)

#### *Taajuuspainotus*

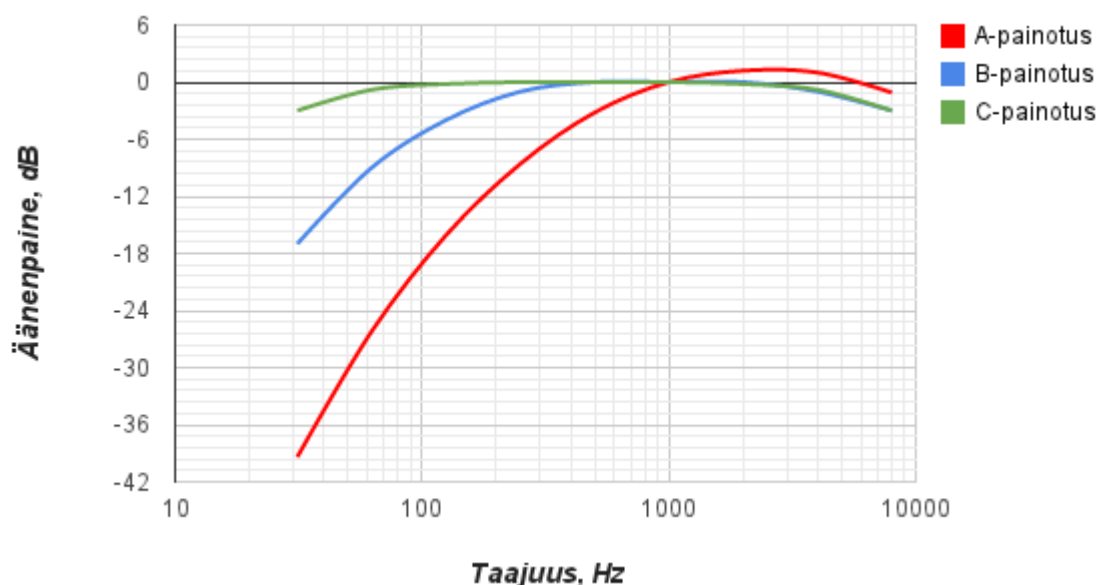
Akustisten mittausten yhteydessä käytetään usein taajuuspainotusta, eli painotussuodinta, jonka tavoite on vastata ihmisen kuuloaistin herkkyyttä eri taajuuksien äänten suhteen. Painotussuodimet perustuvat kansainvälisesti standardisoituihin vakioäänekkyyssäyriin (kuva 2), jotka kuvaavat korvan herkkyyssäyriä eri voimakkuuksille ja taajuuksille. (Lahti, 1995)



Kuva 2: Kuulokynnyskäyrä ja muita vakioäänekkyyskäyriä (Järveläinen, 1997)

Ihmisen kuulolle on ominaista se, että se ei ole yhtä herkkä koko taajuusalueella, vaan herkimmillään 2000 – 5000 Hz:n kaistalla ja alueen molemmin puolin herkkyys on matalampi. Tämän takia arvioitaessa melua kuulon kannalta on mittaustulokset käsiteltävä vastaamaan korvan käyttäytymistä painottamalla äänispektri A-suotimella, joka huomioi kuulon herkyyden ja vähentää matalien ja korkeiden taajuuksien vaikutusta kokonaistulokseen. (Borenus et al., 1981; Lahti, 1995; Smith et al., 1996).

Muita taajuuspainotuksia ovat B-, C-, D- ja Z-painotukset. Z-painotus on lineaarinen, eli se ei painota mitään taajuutta. B-, C- ja D-painotuksia käytetään erityisen voimakkaiden äänien mittauksissa, kuten lentomelun tai ampumaratojen melun arvioinnissa. (Borenus et al., 1981; Lahti, 1995) Taajuuspainotussuotimet ja niiden erot on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3: Taajuuspainotussuotimien vertailu

### 3.1.3 Aikapainotukset

Taajuuspainotusten lisäksi on olemassa aikapainotukset F (Fast) ja S (Slow), joita käytetään melun voimakkuuden vaihtelun mittaamiseen. F-painotuksen integrointiaika on 250 ms ja se vastaa parhaiten ihmisen kuuloaistin toimintaa. Tämän takia melun enimmäistasojen äänekkyyttä ja häiritsevyyttä tulisi arvioida käyttäen F-painotusta. S-painotuksen integrointiaika on huomattavasti hitaampi, 2 s. Se sopii käytettäväksi silloin kuin äänitason nopeilla muutoksilla ei ole merkitystä tutkittavan ilmiön kannalta. (Lahti, 1995)

## 3.2 Äänilähteet ja äänen eteneminen

Äänilähteen ominaisuuksien ja sen tuottaman melun lisäksi melutasoon vaikuttaa ympäröivät olosuhteet, kuten tilan jälkikaiunta-aika. Ääni etenee ympäristössä fysiikan lakien mukaan ja käyttäytyy aaltoliikeopin mukaisesti, eli se esimerkiksi taittuu väliaineen ominaisuuksien muuttuessa. Ääni myös taipuu esteiden taakse, heijastuu rajapinnoista ja siroaa pienten kappaleiden vaikutuksesta.

Ääni vaimenee eli absorboituu äänilähteen ja tarkastelupisteen etäisyyden kasvaessa, sillä ilma absorboi ääntä. Tätä ilmiötä kutsutaan etenemisvaimennukseksi. Äänen vaimeneminen riippuu etäisyydestä, lämpötilasta, ilman suhteellisesta kosteudesta, ilmanpaineesta ja äänen taajuudesta. Yleensä ilman absorptiolla on merkitystä vasta, kun äänen taajuus on korkea (yli 1 000 Hz) ja etäisyys on yli 100 metriä, joten teollisuuden melun kannalta ilman absorptio on lähes merkityksetön. Ilman lisäksi absorboivia materiaaleja on lukuisia, ja niitä käytetään usein hyväksi meluntorjunnassa.

### 3.2.1 Ilma- ja runkoäänet

Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen. Ilmassa etenevää ääntä kutsutaan ilmaääneksi ja sen voi aiheuttaa esimerkiksi musiikki, puhe, koneet ja äänentoistolaitteet. Myös kiinteä aine, kuten maa tai runkorakenteet, voivat toimia äänen etenemisen väliaineena ja tällöin kyseessä on runkoääni. Kiinteissä aineissa tai rakenteissa etenevät äänet ovat taajuusriippuvaisia. Ilmaäänen vaikutuksesta ympärillä olevat rakenteet alkavat värähdellä synnyttäen runkoäänen. Myös rakenteeseen kiinnitetyn laitteen aiheuttama värähtely tai rakenteeseen kohdistuvat iskut, kuten kävely tai esineiden putoaminen, voivat saada aikaan runkoäänen.

### 3.2.2 Iskuäänet

Usein äänivärähtelyjä aiheuttava voima on kestoaltaan lyhytaikainen ja impulssimainen. Esimerkiksi kahden kiinteän kappaleen osuessa toisiinsa tietyllä nopeudella, vaikuttaa kumpaankin kappaleeseen hidastuvuusvoima, joka saattaa molemmat kappaleet värähtelemään omilla resonanssitaajuuksillaan. Tästä aiheutuu äänisäteilyä. (Borenus et al., 1981)

Teollisuudessa melun syynä ovat usein yksittäiset iskut tai iskusarjat liittyen esimerkiksi materiaalin ja kappaleiden kuljetukseen, sekä materiaalien muokkaamiseen. Säännöllisten ja samanlaisten iskujen sarja muodostaa jaksollisen ilmiön, jolla on soiva ääni. (Borenus et al., 1981)

Lyhyillä voimaimpulsseilla on suuri hidastuvuusvoima ja laaja spektri. Molemmat seikat ovat meluntorjunnan kannalta ongelmallisia, koska suuremmat voimat aiheuttavat suurempia värähtelyamplitudeja ja koska äänispektrin suurtaajuiset komponentit ovat häiritsevempiä kuin pienitaajuiset. Tehokkain meluntorjuntakeino on voimaimpulssin madaltaminen ja pienentäminen esimerkiksi päällystämällä iskeytyvät kappaleet kumilla tai muuttamalla terän muotoa, jolloin lyhyt voimakas impulssi saadaan madallettua ja sen kesto pidennettyä. Tällöin melun muodostus vähenee olennaisesti. (Borenus et al., 1981)

### 3.2.3 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika on merkittävä suure arvioitaessa hallien melua ja meluntorjuntaa. Jälkikaiunta-ajaksi määritellään se aika, jonka kuluessa ääni-impulssin äänenpainetaso alenee miljoonasosaan, eli 60 dB:ä. (Työterveyslaitos, 2010a) Tätä aikaa merkitään tunnuksella T60. Tyypillisesti jälkikaiunta-aika vaihtelee riippuen tilasta (asuinrakennukset, konserttisalit sekä tehdashallit) välillä 0,5–2,5 sekuntia. Esimerkiksi konserttisalien jälkikaiunta-aika on tyypillisesti 1,5–2 sekuntia, kun taas puhesaleissa se on 0,5–1 sekuntia. Sopiva jälkikaiunta-aika tehdashallille voisi olla jotakin 1–1,5 sekunnin väliltä.

Yhdessä melulähteen kanssa tilan akustiikka ja sen jälkikaiunta-aika vaikuttavat tilan meluisuuteen. (Borenus et al., 1981)

Jälkikaiunta-aika määräytyy tilan koon ja sen pintojen keskimääräinen absorptiokyvyn perusteella. Kattoon tai seiniin kiinnitettävällä akustointilevyllä (esimerkiksi päällystettyä 50 mm paksua vuorivillalevyä) saadaan keskimääräinen absorptiokerroin kasvamaan ja jälkikaiunta-aika pienemmäksi. (Työterveyslaitos, 2010a) Jälkikaiunta-ajan puolittuminen alentaa hallin melutasoa 3 dB. Samalla halli muuttuu akustisilta ominaisuuksiltaan miellyttävämmäksi ja kommunikointi hallissa on helpompaa. Akustisilla parannuksissa voidaan yleensä saavuttaa noin 2–5 dB:n meluvaimennus. (Työterveyslaitos, 2010a)

### 3.3 Kuulo ja kuuleminen

Kuuloaistimus syntyy ilman ääniaaltojen saapuessa korvaan ja siitä edelleen aivojen kuulokeskukseen. Korva koostuu ulko-, väli- ja sisäkorvasta. Ulkokorvaan kuuluvat korvalehti ja korvakäytävä, joiden kautta ääniaallot siirtyvät tärykalvon värähtelyiksi. Ääni siirtyy tärykalvolta välikorvassa sijaitsevien kuuloluiden, vasaran (malleus), alasiimen (incus) ja jalustimen (stapes), kautta väli- ja sisäkorvan erottavaan eteisikkunaan. Lopulta ääni etenee sisäkorvassa olevaan nesteeseen täyttämään simpukkaan, jonka basilaarikalvo rupeaa äänen vaikutuksesta värähtelemään. Tämä saa aikaan kuuloreseptorisoluja, ja solujen värekarvojen osuessa yläpuolellaan olevaan katekalvoon lähtee kuuloreseptoreista kuulo-tasapainohermoa pitkin hermoimpulssi isoäivokuoren kuuloalueelle, jossa syntyy aistimus äänestä ja sen ominaisuuksista. Kuuloreseptoreina toimivien karvasolujen karvat muodostavat yhdessä niitä ympäröivien tukisolujen kanssa Cortin elimen. (Kuuloliitto, 2009)

Ihmisen kuuloalue ulottuu taajuudeltaan noin 20–20 000 Hz:n välille ja huononee iän myötä, erityisesti korkeiden äänien kuuleminen vaikeutuu. Taajuudeltaan kuuloalueen alapuolella olevat äänet ovat infraääniä, joita korva ei pysty aistimaan äänenä. Infraääniä esiintyy paljon esimerkiksi teollisuudessa ja ne voivat aiheuttaa kuulovaurioita. Myöskään kuuloalueen yläpuolella olevia, kuulolle vaarattomia ultraääniä ihminen ei pysty aistimaan. (Korpinen, 2005a) Äänen voimakkuuden teoreettisena kuulokynnyksenä pidetään 0 dB:ä, mutta käytännössä vain harvat kuulevat niin hiljaisia ääniä ja todellinen kynnyks on muutamia desibelejä korkeampi. Kipukynnyksen alaraja on noin 120–130 dB, ihmisen puheen voimakkuus on keskimäärin noin 50–55dB. (Korpinen, 2005b) Yleisesti melurajana pidetään A-painotettua 80 dB:n äänenpainetasoa. (Starck & Teräsvirta, 2009)

### 3.4 Melun vaikutukset

Yleisimpiä ja parhaiten tunnettuja melusta aiheutuvia haittavaikutuksia ovat tinnitus ja erilaiset kuulovauriot. Melun aiheuttamat kuulovauriot syntyvät hitaasti vuosien saatossa, joten meluvammat huomataan tavallisesti vasta sitten, kun on jo myöhäistä puuttua asiaan. (Työterveyslaitos, 2010b)

Liiallinen melulle altistuminen vaikuttaa ihmiseen muutoinkin kuin vain kuuloon. Meluallistutus voi esimerkiksi vaikuttaa vireystilaan, oppimiseen, suoritukseen, päätöksentekoon ja muuhun käyttäytymiseen, aiheuttaa stressiä ja reaktionopeuden heikkenemistä sekä vaikeuttaa erityisesti kommunikointia. Meluisissa tiloissa puheen ja muiden äänimerkkien ja varoitussignaalien kuuluvuus heikkenee, mikä puolestaan voi aiheuttaa väärinkäsityksiä ja jopa vaaratilanteita. Melu vaikeuttaa myös puhumista, sillä meluisassa tilassa puhujan pitää korottaa ääntään. Kovassa taustamelussa puhujan äänentuottokyky joutuu koetukselle, erityisesti kuulonsuojaimia käytettäessä.

Kuitenkin, meludirektiivin (EY 2003) mukaan melun vahingollisuutta arvioitaessa huomioidaan vain sisäkorvavaikutukset ja vaikutukset onnettomuusriskiin (Työterveyslaitos, 2012).

#### 3.4.1 Sisäkorvavaikutukset

Puheen taajuusalue voi ulottua välille 80 Hz–10 kHz, mutta puheen ymmärtämisen kannalta tärkeimmät taajuudet ovat välillä 1500 Hz–3000 Hz (Borenus et al., 1981). Useimmiten meluvammat syntyvät juuri tällä taajuudella ja heikentävät puheen erottelevyyttä. Melu vaikuttaa sisäkorvassa joko kemiallisten tai mekaanisten vaikutusmekanismien kautta aiheuttaen vauriota (Pyykkö et al., 2007). Kemialliset vauriot aiheutuvat sisäkorvan karvasolujen melun vaikutuksesta kiihtyneestä metaboliasta, jonka seurauksena muodostuu oksidantteja. Oksidantit puolestaan voivat aiheuttaa solujen kuolemista apoptoosin kautta. Meluallistutus voi aiheuttaa sisäkorvassa myös mekaanisia mikrovaurioita, joita solu kuitenkin saattaa pystyä itse korjaamaan. Korjaantumattomat vauriot voivat johtaa kuulosolujen nekroottiseen kuolemaan. Tähän liittyy tavallisesti erilaisia kuulo-oireita, kuten tinnitusta (Pyykkö et al., 2007; Työterveyslaitos, 2012)

Meluvamman syntyyn vaikuttaa äänenvoimakkuus, altistumisaika ja ihmisen yksilölliset ominaisuudet. Ensimmäiset merkit meluvamman synnystä ovat korvien soiminen ja vaikeudet erottaa puhetta hälinässä. Luonnollisesti mitä suurempi melutaso ympärillä vallitsee ja mitä kauemmin sille altistutaan, sitä suurempi on kuulovaurion synnyn todennäköisyys. (Työterveyslaitos, 2012)

Kuulovauriot syntyvät korvassa sijaitsevien aistikarvasolujen laotessa melun vaikutuksesta. Osa soluista ei välttämättä enää palaudu, vaan ne kuolevat. Koska uusia soluja ei synny, vaikeuttaa tämä äänen välitystä aivojen kuulokeskukseen ja heikentää kuuloaistimusta. Uloimmat hiussolut vaurioituvat sisäisiä herkemmin ja tämä aiheuttaa vaikeuk-

sia hiljaisten äänten kuulemiseen. Kuulovauriot syntyvät ensin korkeammilla taajuuksilla, jolloin niitä ei välttämättä heti edes huomata. Altistuksen jatkuessa vauriot laajenevat myös puheen taajuusalueelle. Melun lisäksi kuulovaikeuksien syntyyn vaikuttaa ikä, vapaa-ajalla tapahtuva melualtistus, muut altisteet (alkoholi, tupakka, lääkkeet, tärinä), yksilölliset ominaisuudet ja perintötekijät (Työterveyslaitos, 2010b)

Tinnitukseksi kutsutaan korvissa tai päässä soivaa ääntä, joka ei tule ulkopuolelta. Tinnitus on melko yleinen, joskin ikävä vaiva, joka aiheutuu yleensä sisäkorvan vaurioista. Vaurioiden laajuus ei kuitenkaan ole suoraan verrannollinen tinnituksen voimakkuuteen, vaan pienikin vaurio voi aiheuttaa erittäin häiritsevää korvien soimista. (Työterveyslaitos, 2010b)

Impulssimaisen melun on havaittu pahentavan kuulovamman syntyä (Starck et al., 1988). Kuitenkin melutason, kuten tällöin myös impulssien, ollessa matalia ei kyseistä ilmiötä havaita (Toppila et al., 2000). Sellaista piikkiarvoa, jota voimakkaammat melupiikit aiheuttaisivat lisäriskiä, ei tunneta, mutta on todettu impulssimaiseen meluun liittyvän kohonnut tinnituksen riski (Axelsson & Prasher, 2000). Melua voidaan luonnehtia impulssimaiseksi, jos työpäivän aikana altistutaan tuhansille impulsseille, esimerkiksi hitsausta voidaan pitää impulssimaisena meluna. Impulssimelu on aina kytköksissä akuutin kuulovamman riskiin. Sille ei kuitenkaan ole olemassa annos-vastesuhdetta eikä alarajaa tunneta. (Työterveyslaitos, 2012)

### 3.4.2 Onnettomuusriski

Melu kasvattaa onnettomuusriskiä, koska se heikentää tai jopa peittää varoitussignaalien kuuluvuutta. Varoitussignaalien kuuluvuudesta on tarkemmin määritelty standardissa ISO 7731:2003. Melu myös heikentää puheen ymmärrettävyyttä, mikä puolestaan vaikeuttaa työntekijöiden välistä kommunikointia. Lisäksi jatkuva melu vaikuttaa työntekijöiden tarkkaavaisuuteen, jolloin ympäristön tapahtumia ei huomioda niin herkästi. Onnettomuusriski ei siis johdu pelkästään melusta itsestään, vaan sen aiheuttamista vaikutuksista muihin onnettomuuksille altistaviin tekijöihin. (Toppila et al., 2009; Työterveyslaitos, 2012)

Puheen ymmärrettävyyden kannalta sen täytyy erottua taustamelusta riittävästi. Tätä kuvataan signaalikohinasuhteella, eli puheen ja taustamelun signaalien suhteella. Puhe erottuu taustamelusta hyvin signaalikohinasuhteen ollessa yli 15 dB:ä, eli puheen voimakkuuden täytyy siis olla yli 15 dB:ä suurempi kuin taustamelun. Signaalikohinasuhde ei kuitenkaan huomioi taustamelun ja puheen spektrin merkitystä. Puheen taajuusalueen lähellä oleva melu voi aiheuttaa peittovaikutuksen ja näin heikentää ymmärrettävyyttä. Myös kuulonsuojaimet heikentävät signaalikohinasuhdetta ja täten ymmärrettävyyttä. Teollisuuden tiloissa harvoin päästään yli 15 dB:n signaali-kohinasuhteeseen, mutta

tästä huolimatta ymmärrettävyys voi olla hyvä mikäli puheen ja melun spektrit ovat riittävän erilaiset. (Toppila et al., 2009; Työterveyslaitos, 2012)

### 3.4.3 Yhteisvaikutukset

Joillakin aineilla on havaittu olevan yhteisvaikutuksia melun kanssa. Aineita kutsutaan ototoksisiksi ja tällaisiksi on tunnistettu ainakin tolueeni, rikkihiili, lyijy, elohopea ja hiilimonoksidi. (European Risk Observatory, 2009; Johnson & Morata, 2010; Työterveyslaitos 2012). Samanaikainen altistuminen noin 80 dB:n (A) melulle ja mainituille ototoksisille aineille pitoisuuksissa, jotka ovat lähellä aineiden työhygieenistä raja-arvoa, saattaa aiheuttaa kuulovaurion. (Työterveyslaitos, 2012)

Meluasetuksen mukaan työnantajalla on velvollisuus arvioida melun ja ototoksisten aineiden yhteisvaikutusta. Tällä hetkellä siihen ei kuitenkaan ole olemassa selkeää ja käytökelpoista menetelmää. (Työterveyslaitos, 2012)

### 3.4.4 Infraääni ja pientaajuinen ääni

Kaikkia alle 500 Hz:n ääniä nimitetään yhteisesti pienitaajuisiksi ääniksi. Hyvin matalataajuiset, alle 20 Hz:n äänet ovat infraääntä, jota ihminen ei kuule vaan aistii värinä (Borenus et al 1981). Altistuminen pientaajuiselle melulle voi aiheuttaa VAD-oireyhtymän (Vibro Acoustic Disease). Tyypillisesti pienitaajuiselle melulle altistutaan ilmailun ja raskaan teollisuuden työtehtävissä.

VAD-tauti aiheutuu verisuoniston, keuhkojen ja munuaisten solujen ulkopuolisten matriisien, kollageenin ja elasiinin, epänormaalia kasvusta. VAD-oireyhtymän diagnosoiminen on vaikeaa, sillä tavalliset kokeet, esimerkiksi EEG, eivät poikkea normaalista. Annosvastesuhdetta ei tunneta, mutta Alves-Pereiran ja Castelo-Brancon (2007) mukaan rajaksi suositellaan lineaarisena äänitasona 90 dB:ä. Kuitenkin on havaittu saman altistustason aiheuttavan erilaisia tuloksia eri ryhmien keskuudessa, johtuen todennäköisesti melun erilaisista taajuusjakaumista. Tämän takia pienitaajuiselle melulle ei voida määrittää tavoitetasoja. (Alves-Pereira & Castelo Branco, 2007; Työterveyslaitos, 2012)

### 3.4.5 Häiritsevyys-, ärsytys- ja muut vaikutukset

Melun häiritsevyys- ja ärsytysvaikutukset ovat kuulijasta riippuvia subjektiivisia kokemuksia, joihin vaikuttaa kuulijan mieltymykset ja fysiologiset ominaisuudet. Häiritsevyyttä ja ärsyttävyyttä ei voi arvioida pelkästään äänenpainetason perusteella, sillä äänellä on muitakin kuuloaistimukseen vaikuttavia ominaisuuksia, kuten äänekkyyys, terävyys, jaksollisuus ja karheus. (Järveläinen, 1997) Usein äkillisiä ja yllättäviä ääniä sekä kapeakaistaista ääntä pidetään ärsyttävinä. Näiden arviointiin antaa ohjeita asumisterveysohje (2003).



Suoritettaessa pääasiallista työtehtävää, saattaa melu parantaa työntekijöiden työnopeutta, mutta muut tehtävät kärsivät. Melu siis kohdentaa tarkkaavaisuuden ainoastaan päätehtävään heikentäen näin laaja-alaista toiminta- ja havainnointikykyä. Myös työmotivaatio ja -viihtyvyys saattavat kärsiä, mikäli melualistutus on kohtuuttoman suuri.

Altistuessaan melulle ihmisen elimistö alkaa erittää stressihormoneita, kuten noradrenaliinia, adrenaliinia ja kortisolia (Stansfeld & Matheson 2003). Jatkuva altistuminen 95 dB:n (A) melulle lisää stressihormonin tuotantoa ja jo 60 dB:n (A) ääni saa sympaattisen hermoston toiminnan lisääntymään (Työterveyslaitos, 2012). Korkeat stressihormonitasot nostavat vireystilaa, mutta pitkään jatkuessaan aiheuttavat väsymystä, päänsärkyä ja univaikeuksia. Melulla on todettu olevan mahdollisesti vaikutuksia psykologisen stressin, unihäiriöiden ja heikentyneen työkyvyn kehittymiseen. (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000) Melu vaikuttaa nukkumiseen ja uneen vaikeuttaen nukahtamista, aiheuttaen ylimääräisiä heräämisiä ja heikentäen unen laatua. Lisäksi melulle altistuminen voi aiheuttaa ohimeneviä muutoksia elintoiminnoissa, kuten muutoksia näössä, verenkierrassa ja hormonitoiminnoissa. Melun vaikutusta verenpaineeseen ja hypertensioon (verenpainetauti, kohonnut verenpaine) on tutkittu hyvin paljon vuosikymmenten ajan. Laajassa meta-analyysissä (van Kempen et al., 2002) melu tunnistettiin yhdeksi riskitekijä kohonneeseen verenpaineeseen ja hypertensioon liittyen. Koskisen (2013) mukaan työperäiselle melulle altistuminen on omalta osaltaan haitallinen tekijä korkean verenpaineen ja sepelvaltimotaudin kannalta, mutta erityisesti yhdessä kuormittavan työn, vuorotyön ja metabolisen oireyhtymän kanssa.

### 3.5 Melun mittaaminen

Kaikkein tavallisimmassa teknisen akustiikan mittausongelmassa halutaan selvittää äänenpaine (tai äänitaso) tietyssä pisteessä, eli se kuinka voimakasta melu tässä pisteessä on. Mittauskohteena on siis joko melutaso tai äänenvoimakkuus. Äänitason mittaukset ovat yksikanavaisia, eli yhdessä pisteessä esiintyvän äänisignaalin tarkastelua. (Lahti, 1995)

Mittausten lähtökohtana on aina mittaustulosten käyttötarkoitus sekä se, mitä mittauksilla halutaan selvittää. Nämä asiat asettavat vaatimukset esimerkiksi käytettäville mittalaitteille ja menetelmille. Standardeissa määritellään eri mittauksissa käytettävät menetelmät ja mittalaitteet. (Työterveyslaitos, 2015b) Melualistuksen määrittämiseen on tällä hetkellä käytössä kaksi menetelmää. Altistumista voidaan mitata joko meluannosmittarilla tai melutasomittarilla sekä haastatteluilla. (Työterveyslaitos, 2015c)

#### 3.5.1 Melumittarit

Akustiikan tavallisin mittalaite on äänitasomittari. Puhekielessä käytettyjä synonyymejä ovat melumittari ja desibelimittari. Tavallinen äänitasomittari koostuu mikrofonista,

vahvistimesta, suotimista ja ilmaisimista sekä näyttölaitteesta. Perusrakenne on säilynyt vuosikymmeniä samana, vain toteutustekniikka on seurannut elektroniikan kehitystä. (Lahti, 1995)

Melumittauksissa käytettävät mittarit luokitellaan standardin IEC 61672 mukaan kolmeen luokkaan tarkkuustasojen perusteella. Tarkimmat, 0-luokan mittarit ovat referenssilaboratoriomittareita, 1-luokan melumittarit puolestaan soveltuvat seurantamittauksiin ja meluannosmittauksissa käytettävät mittarit kuuluvat luokkaan 2. Mittarin tarkkuus on riippuvainen käytetyn elektroniikan ja mikrofonin laadusta. (Työterveyslaitos, 2015b)

Akustiikan mittauksissa lähes yksinomaan käytetty anturityyppi on kondensaattorimikrofoni. Syitä sen suosioon ovat sen ominaisuudet, joiden takia se on useimmissa tapauksissa sopivin anturityyppi käytettäväksi äänenpaineen mittauksissa. Kondensaattorimikrofonilla on hyvä stabiilius, tasainen taajuusvaste laajalla kaistalla, laaja dynamiikka-alue, kohtuullisen hyvä herkkyys, pieni sisäinen kohina eikä se aiheuta suurta häiriötä mitattavaan äänikenttään. (Lahti, 1995)

### 3.5.2 Mitattavat suureet

Melumittauksissa tavallisimmin kiinnostavin suure on äänen voimakkuus, eli äänenpainetaso  $L_p$ . Tässä ei vielä huomioida ihmisen kuulon ominaisuuksia, joten arvo pitää painottaa A-suotimella vastaamaan kuulon käyttäytymistä, jolloin kyseessä on A-painotettu äänenpainetaso.

Työmelun kannalta kiinnostavat suureet ovat melulainsäädännössä esiintyvät suureet, eli A-painotettu ekvivalenttiäänitaso  $L_{Aeq}$  ja äänenpaineen C-painotettu huippuarvo  $L_{Cpeak}$ . Usein myös äänenpaineen A-painotetut maksimitaso  $L_{Amax}$  ja minimitaso  $L_{Amin}$  ovat käyttökelpoisia suureita tulosten analysoinnissa.

Tutkittaessa melun syntymekanismia ja suunniteltaessa torjuntatoimenpiteitä eivät nämä melulainsäädännössä määritellyt kaksi arvoa, A-ekvivalenttitaso/meluannos ja äänenpaineen huippuarvo, kerro juurikaan mitään, vaan on suoritettava taajuusanalyysi. Tästä selviää jo paljon enemmän äänen lähteistä ja luonteesta. (Borenus et al., 1981)

#### *Meluannos ja melualtistus*

Melumittausten yhteydessä puhutaan myös meluannoksesta ja melualtistuksesta. Melualtistusta arvioidaan sen keston kautta, tällöin puhutaan meluannoksesta. Tavallisesti vertailutasona pidetään 8h:n pituista työpäivää. Maksimi päiväkohtainen meluannos täyttyy, kun oleskellaan esimerkiksi 85 dB:n (A) melussa 8 h. Koska äänenpaine on logaritminen suure, altistumisaika puolittuu tason noustessa 3 dB:ä. Taulukossa 2 on kuvattu melutason ja altistumisaikan välinen riippuvuus. (Starck & Teräsvirta, 2009)

Taulukko 2: meluannokset (mukailtu lähteestä Starck &amp; Teräsvirta, 2009)

Jatkuva A-painotettu melutaso (dB)	Altistusaika (h)
85	8
88	4
91	2
94	1
100	0,25

***Pysyvyystasot***

Melun tutkimisen kannalta tärkeä suure on myös pysyvyystaso  $L_n$ , joka ilmaisee sen tason jonka yläpuolella  $n$  % näytteistä on. Pysyvyystaso  $L_{90}$  kuvaa sitä melua, jota 90 % mittausajasta edustaa eli keskimääräistä taustamelua.  $L_{10}$  puolestaan kuvaa sitä melua, jota 10% mittausajasta on eli keskimääräisiä huippuja. Mitä lähempänä nämä luvut ovat toisiaan, sitä tasaisempaa melu on. Yleensä ilmoitetaan myös pysyvyystasot  $L_{50}$  ja  $L_{99}$ .

***Epätarkkuus***

Käytännössä melumittauksissa saavutetaan parhaimmillaankin vain suuruusluokan  $\pm 1... \pm 2$  dB:n epätarkkuus, johtuen muun muassa käytettävien mittareiden valmistajan ilmoittamasta mittausvirheestä ja muista mittausta häiritsevistä tekijöistä. Tämän takia absoluuttisissa tasomittauksissa ensimmäinen desimaali ei ole koskaan merkitsevä numero. Myös suhteellisissa, kahden tason erotuksen mittauksissa desibelin ensimmäiseen desimaaliin tulee suhtautua varauksella. Pääsääntöisesti desibelit on siis pyöristettävä kokonaisluvuiksi. (Lahti, 1995)

**3.5.3 Standardit ja käytännöt**

Melun mittaamiseen, arviointiin ja torjuntaan liittyy monia eri standardeja. Kirjainyhdistelmät kuten SFS, EN, ISO ilmoittavat organisaation, jossa standardin teksti on vahvistettu. Suomessa vahvistetun standardin tunnus on SFS, eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä CENissä vahvistetun EN ja kansainvälisessä standardisoimisjärjestössä ISOssa julkaistun ISO. Tunnusyhdistelmä SFS-EN tarkoittaa, että sama standardi on voimassa sekä Suomessa että Euroopassa, SFS-ISO puolestaan sitä, että standardi on voimassa Suomessa ja ISOssa, mutta sitä ei ole vahvistettu CENissä. SFS-EN ISO tarkoittaa, että standardi on vahvistettu kaikissa kolmessa organisaatiossa. (Suomen standardisoimisliitto SFS ry)

Melulle altistumista arvioidaan standardin ISO 1999:1990 (Acoustics. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment)

korvanneen standardin ISO 1999:2013 (Acoustics. Estimation of noise-induced hear loss) perusteella, johon pohjautuu standardi SFS-EN 4578 (meluallistuksen mittaaminen). Standardissa annetaan yhdenmukaiset ohjeet melun mittaamisesta, kun tarkoituksena on mittaustulosten perusteella arvioida melun aiheuttaman kuulovauriovaaran suuruutta työpaikoilla, meluallistuksen  $L_{Aeq}$  avulla.

Melun mittaamiseen liittyviä tarkempia käytäntöjä on kirjattu standardissa ISO 9612:2009 (Acoustics. Determination of occupational noise exposure. Engineering method). Tätä vastaa SFS-EN ISO 9612:en (Akustiikka. Työperäisen meluallistuksen määrittäminen. Tekninen menetelmä). Käytettäviin mittareihin liittyy standardi IEC 61672-1:2013 (Electroacoustics. Sound level meters Part 1: Specifications), jota vastaa SFS-EN 61672-1 (Electroacoustics. Sound level meters. Part 1: Specifications).

Meluntorjuntatoimenpiteisiin liittyviä standardeja ovat ISO 15667:2000 (Acoustics. Guidelines for noise control by enclosures and cabins), johon perustuu SFS-EN ISO 15667:en (Akustiikka. Ohjeita koteloiden ja ohjaamoiden avulla toteutettavasta meluntorjunnasta) ja kuulonsuojainten valintaan liittyvä standardi SFS-EN 458 (Kuulonsuojaimet. Valintamenetelmät, käyttö, hoito ja kunnossapito. Suositukset).

### 3.5.4 Mittausongelmat

Nykyisiä melulle altistumisen ja siitä aiheutuvan riskin arviointitapoja kohtaan on esitetty kritiikkiä. Altistumisen mittaamiseen liittyy oletuksia ja epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat siihen miten hyvin mittausympäristö ja -olosuhteet vastaavat todellisuutta. Täten Eurooppalaisen lainsäädännön mukaiset laskelmat eivät välttämättä ole täysin edustavia. (Cagno et al., 2004)

Todellisen meluallistuksen mittaamisen ja arvioinnin vaikeus johtuu neljästä tekijästä (Cagno et al., 2004), jotka ovat:

- melutasojen satunnaiset vaihtelut, jotka ovat suoraan kytköksissä koneen tai prosessin vaiheeseen sekä koko tuotannon organisointiin
- melutasojen vaihtelut johtuen melulähteiden sijainnista, ja muut erityiset akustiset ominaisuudet
- satunnaiset melulle altistumisaikojen vaihtelut, jotka ovat kytköksissä työntekijöiden suorittamien työtehtävien määrään. Lisäksi käsin tehtävien työvaiheiden määrä vaihtelee
- melumittauksia ei usein tehdä riittävää määrää eivätkä ne kestä riittävän kauaa johtuen kustannuksista ja siitä, että ne häiritsevät tuotantoa.

Lisäksi kohdeyrityksessä työnkuva on nykyään muuttunut siitä, mitä se oli ennen. Työntekijät eivät enää välttämättä suorita vain yhtä tiettyä työtehtävää omalla pisteellään, vaan on hyvin tavallista, että työntekijä käy päivän aikana monessa eri pisteessä autta-

massa tai viemässä ja tuomassa tavaroita. Työ ei enää rajoitu tietylle alueelle, mikä aiheuttaa ristiriidan siihen mikä on työpisteen melutaso verrattuna työntekijän saamaan meluannokseen ja siihen, kuinka paljon se vaihtelee päivittäin.

Tämä johtaa siihen, että myös mittausten luotettavuutta on tarpeen arvioida, jotta minimoidaan riskiä yli- tai aliarvioida todellista melulle altistumista ja tarvittavia sekä ylipäänsä mahdollisia toimenpiteitä.

Mittaustuloksia analysoitaessa törmätään myös siihen ongelmaan, miten melutaso tulisi ilmaista. Kertooko loppujen lopuksi A-ekvivalenttitaso  $L_{Aeq}$  eli yksi luku koko mittausajan melutapahtumista mitään? Kyseinen luku ilmoittaa vain mittausjakson äänienergian muutettuna vastaamaan tasaisena jatkuvan melun aiheuttamaa energiaa. Melun voimakkuus voi siis vaihdella hyvinkin paljon ja olla esimerkiksi suurimman osan ajasta hyvin matala, mutta yksikin voimakkaampi melupiikki voi aiheuttaa sen, että ekvivalenttimelutaso on toiminta-arvojen yläpuolella. Usein ihmiset kuitenkin saattavat ymmärtää  $L_{Aeq}$  arvon tarkoittavan sitä, että äänitaso olisi jatkuvasti kyseisen arvon suuruinen, esimerkiksi 85 dB:ä. Todellisuudessa tilanne voi kuitenkin olla se, että pääosin taso on alle 80 dB:ä ja yksi voimakkaampi ääni aiheuttaa sen, että ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$ :n arvo nousee. Kuulovaikutusten kannalta asialla ei ole väliä, sillä lain tarkoittama meluannos täyttyy, mikäli tässä tilassa oleskellaan työpäivän (8h) ajan. Kuitenkaan tämä ei kerro mitään siitä, millaiset olosuhteet työpaikalla oikeasti vallitsee. Paremman käsityksen saa tarkastelemalla pysyvyytasoja ja taajuusjakaumaa, joiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä millaista melu on ja mistä se mahdollisesti johtuu.

Lahden (1995) mukaan ihmisen kuuloaistimuksella ei ole mitään tekemistä peakpainotuksen kanssa eikä äänekkyyttä tai häiritsevyyttä ei pidä koskaan yrittää arvioida äänenpaineen huipputason avulla. Kyseinen painotus sopii vain äärimmäisen voimakkaan melun arviointiin, jossa voi olla mahdollista, että välitön kuulovaurio ei enää riipu yksinomaan melusignaalin tehosta tai energiasta. Käytännössä äänenpaineen huipputasojen olisi tällöin oltava vähintään 140 dB:n tasolla, joten tätä painotusta ei saisi käyttää muunlaisen melun arviointiin, kuten nykyisessä melulainsäädännössä tehdään.

Kuten edellä todetaan, ei nykyisen lainsäädännön määrittelemä  $L_{Cpeak}$  arvo ole järkevä tapa melun haitallisuuden arviointiin, sillä se ei vastaa ihmisen kuuloaistin toimintaa ja sopii vain suurten äänenpaineiden, yli 140 dB:n, haitallisuuden arviointiin. Tällaisia melutasoja ei metalliteollisuudessa esiinny, vaan epäilyttävän korkeat lukemat melumittareissa johtuvat mikrofonin äärimmäisestä herkkyydestä paineelle, esimerkiksi kosketukselle tai vaatteiden kahinalle.

### 3.6 Meluntorjunta

Meluntorjunnassa tulisi aina ensin keskittyä rakenteelliseen torjuntaan ja vasta toissijaisena keinona kuulonsuojaamiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ensiksi pyritään estämään melun syntyminen esimerkiksi poistamalla sen aiheuttaja tai suosimalla vaihtoehtoisia työtapoja. Mikäli tämä ei onnistu, tulee melun eteneminen estää erilaisin keinoin, esimerkiksi koteloimalla. Melua voidaan myös vaimentaa akustoinnilla. (Borenus et al., 1981) Mikäli melutasoa ei saada ensisijaisilla keinoilla laskettua riittävästi, on aiheellista suojata kuulo kuulonsuojaimilla. Kuulonsuojaimia on olemassa monia erilaisia ja eri tarkoituksiin soveltuvia, mutta karkeasti ne voidaan jakaa tulppa-, kupu- ja elektronisiin suojaimiin. Teollisuudessa yleisimmin käytetyt suojaimet ovat tulppa- ja kupusuojaimet. Viimeisenä keinona melualtistusta voidaan pienentää rajoittamalla melussa oloaikaa, jolloin altistus pienenee. Meluntorjunnassa kuulonsuojaimet ovat usein välttämätön ja välitön keino suojata kuuloa, mutta ei kuitenkaan yksin riittävä torjunta-keino melualtistuksen vähentämiseksi. Työntekijöille annettavat ja heidän käyttämänsä kuulonsuojaimet eivät poista työnantajan velvollisuutta meluntorjuntaan, mikäli ylempi toiminta-arvo 85 dB:ä (A) ylittyy. (Työterveyslaitos, 2010b)

Meluntorjunnan toimenpiteet voidaan jaotella seuraavasti:

- melulähteeseen kohdistuvat
  - syntyvän äänen pienentäminen
  - työmenetelmien kehitys
- äänen leviämisen estäminen
  - kotelointi ja suojaseinämät
- tilaan kohdistuvat
  - absorptio
  - etäisyys
  - melulähteiden ja työntekijöiden keskinäinen sijoittelu
- työn uudelleenjärjestely
- henkilökohtaiset kuulonsuojaimet
  - tulppa
  - kupu
  - elektroniset, kuten vastamelu
- altistusajan rajoittaminen

#### 3.6.1 Melulähteeseen kohdistuvat toimenpiteet

Aikaisemmin tähän ei ole kiinnitetty huomioita kovinkaan paljoa, mutta nykyään entistä enemmän. Nykytietämyksen valossa ymmärretään yhä paremmin melun syntymekanismeja ja osataan paikallistaa melun aiheuttajia. Tämän kautta koneiden aiheuttamaa melua pystytään pienentämään, joskin asia on koneen valmistajan vastuulla. Aihe on oma eksperttialueensa ja tarvittavia ohjelmia on olemassa. Työntäjän puolella asia näkyy

niin, että huomio tulisi kiinnittää jo koneen hankintavaiheessa sen meluisuuteen ja ottaa se yhdeksi valintakriteeriksi muiden ohelle.

Usein työpaikoilla esiintyy työntekijöiden toimesta virheellisiä työskentelytapoja joko tiedostamatta tai jopa tietoisesti, mikäli työn suorittaminen näin helpottuu. Näihin tulisi kiinnittää huomiota ja varmistaa koulutuksella, että työntekijät käyttävät koneita ja laitteita asianmukaisesti.

### **3.6.2 Äänen leviämisen estäminen koteloinnin ja suojaseinä-** **mien avulla**

Jos melulähteen tuottamaa äänitehoa ei ole mahdollista pienentää riittävälle tasolle, voidaan meluntorjuntakeinona käyttää äänen siirtymisen estämistä äänilähteestä ympäröivään tilaan. Tehokas tapa on melukotelointi, eli äänilähteen ympärille rakennetaan osittain tai täysin suljettu kotelo. Suljetulla koteloinnilla saavutetaan yleensä parempi eristysvaikutus kuin osittain suljetulla, helposti päästään jopa 20–30 dB:n vaimennukseen. Osittainenkin kotelointi voi olla riittävä, jos vaimennustarve ei ole suuri ja ääni täytyy vaimentaa vain yhteen suuntaan. (Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, 1975)

Kotelointia ei aina ole mahdollista tai järkevää toteuttaa, sillä se saattaa vaikeuttaa liikaa laitteen käyttöä ja huoltoa. Kotelointi saattaa myös aiheuttaa koteloitavan laitteen kuumenemista. Edellytyksenä koteloinnille onkin usein laitteen pienikokoisuus ja yksinkertaisuus, jotta kotelo on järkevää rakentaa sen ympärille. Kotelointi ei välttämättä aina ole taloudellisin vaihtoehto, vaan esimerkiksi uuden hiljaisemman laitteen hankinta tai vanhan siirtäminen muualle voi olla edullisempaa. Kotelointia suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon myös kotelorakenteen vaikutukset tuotantoon, huoltoon, ilmanvaihdon toteuttamiseen ylikuumenemisen estämiseksi, läpivientien ja ikkunoiden sekä ovien tarve sekä mekaaninen kestävyys. (Hongisto, 2011)

Äänilähteen ja suojattavan kohteen väliin voidaan sijoittaa ääntä eristävä seinämä. Riittävän eristävästä materiaalista valmistettu seinämä ja mahdollisesti ääntä absorboivat pinnat estävät äänen siirtymistä ja tilaan tulevaa äänitehoa. (Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, 1975)

### **3.6.3 Tilaan kohdistuvat toimenpiteet**

#### ***Absorptio***

Asentamalla tilan sisäpinnoille absorptiolevyjä voidaan parantaa sen akustisia ominaisuuksia, kuten jälkikaiunta-aikaa ja vaimentavuutta. Absorptiolevyt vähentävät pinnoilta heijastuvia ääniä ja näin tilan vaimennusta kasvattamalla saadaan melutaso pienemmäksi, vähennettyä kaikumista ja helpotettua puhekommunikointia. (Hongisto, 2011)

Äänenvaimennusmateriaalin valinnassa tulee kiinnittää huomiota sen absorptio-ominaisuuksiin. Teollisuustiloihin tulee valita aina materiaaleja, joiden absorptiosuhde on mahdollisimman lähellä yhtä kaikilla oktaavikaistoilla. (Hongisto, 2011) Myös taloudelliset seikat ovat tärkeitä valintaa tehdessä. Mikäli on mahdollista käyttää samaa materiaalia tilan seinässä sekä äänen absorptioon, että lämmöneristykseen, kannattaa näin ehdottomasti tehdä (Borenus et al., 1981).

Vaikka absorptiomateriaalin avulla saadaankin jonkin verran vähennettyä äänen heijastumisesta aiheutuvaa äänenpainetasoa, ei äänenvaimennuksen lisäämisellä kuitenkaan saada välttämättä vähennettyä työntekijän meluannosmäärää, vaan työntekijä altistuu joka tapauksessa suoraan koneesta tulevalle melulle työskennellessään sen välittömässä läheisyydessä. Pinnoista heijastuvat äänet nostavat melutasoa etäämpänä äänilähteestä, joten äänenvaimennusmateriaalin asentaminen pintoihin vaimentaa melua vain kauempana lähteestä työskentelevien työntekijöiden kannalta. Vaimennuksen lisääminen tekee myös työympäristöstä miellyttävämmän. (Hongisto, 2011)

### ***Etäisyys***

Etäisyyden kaksinkertaistuessa melutaso putoaa 3-6 dB:ä. Vastaavasti desibeliasteikolla kaksi samansuuruista äänilähdettä aiheuttavat yhdessä vain noin 3 dB:ä voimakkaamman äänen, kuin yksi äänilähde. (Starck & Teräsvirta, 2009)



## 4 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

### 4.1 Mittalaitteet

#### *Brüel & Kjaer meluannosmittari*

Kuvassa 4 on tässä työssä käytetty Brüel & Kjaerin (B&K) meluannosmittari mallia 4445. Käytössä oli kaksi mittaria, jotka oli numeroitu (4 & 5) tunnistuksen helpottamiseksi. Kyseiset mittarit ovat standardin IEC 61672 mukaisia tarkkuustason 2 integroivia äänitasomittareita ja tämän perusteella sopivat käytettäväksi työmelun mittaukseen ja arviointiin liittyvissä mittauksissa.



Kuva 4: Brüel & Kjaer meluannosmittari malli 4445 (Brüel & Kjaer, 2007)

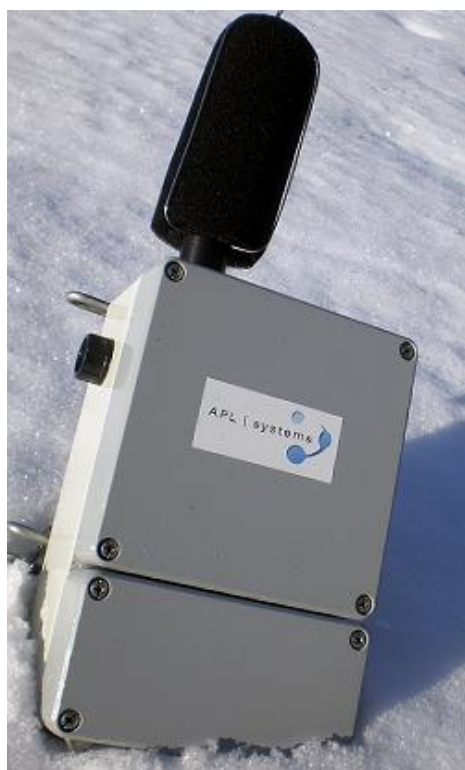
Kyseistä mittaria on mahdollista käyttää sekä meluannos-, että melutason mittauksissa. Mittariin on valmiiksi asetettu 7 eri ”set-upia” (OSHA, MSHA, DOD, ACGIH, ISO85 ja ISO90), jotka takaavat, että mittaus on validi ja käytettävän standardin mukainen. Näiden lisäksi käyttäjä voi kustomoida asetukset mieleisekseen, mikäli valmiit asetusvaihtoehdot eivät ole sopivia. (Brüel & Kjaer, 2007)

Tämän työn kannalta oleelliset mittarin asetuksista löytyvät parametrit ovat

- mittausalue (30–100 dB, 50–120 dB, 70–140 dB)
- A- ja C-taajuuspainotukset
- lineaari ja C-peak taajuuspainotukset
- Fast, Slow ja Impulse-aikapainotukset
- meluannos  $L_{Aeq}(8h)/L_{EP,d}$
- a-ekvivalenttiäänitaso  $L_{Aeq}$
- Pysyvyystasot  $L_n$

### ***APL Systems Aures datalogger***

Kuvassa 5 oleva laite on Kuopiolaisen APL Systemsin Aures datalogger-mittalaite, joka on kehitetty teollisuuden ja energia- sekä kuljetusalan melumittaustarpeita varten. Aures datalogger on standardin IEC 61672 mukainen integroiva äänitasomittari, joten se sopii työmelun mittaukseen ja arviointiin. Laite tallentaa mittausdatan aikatasossa ekvivalenttitason laskentaa ja muuta myöhempää käsittelyä varten. Tallennetusta mittausdatasta äänisignaalia voi jälkikäteen kuunnella, mikä mahdollistaa melulähteiden tunnistamisen. (APL Systems, 2014)



**Kuva 5: Aures datalogger (APL Systems, 2014)**

Äänisignaali tallentuu laitteessa oleville muistikortteille. Mittauksen päätyttyä muistikortille tallentunut data puretaan tietokoneelle analysointia varten. Tämä tapahtuu tarkoi-

tukseen kehitetyn unix-pohjaisen SDDataTransfer-ohjelman avulla. Muistikorteilta pu-  
rettua dataa on tämän vaiheen jälkeen mahdollista käsitellä ja analysoida Aures Ana-  
lyzer- ja Aures Reporting- ohjelmistojen avulla. Ohjelmistot ovat APL Systemsin kehit-  
tämiä työkaluja datan visualisoinnin, tulkinna ja raportoinnin avuksi. Aures Analyzer-  
ohjelmiston työkaluilla mittaustuloksia voidaan tarkastella reaaliaikaisesti sekunnin  
aikafunktiolla ja samalla kuunnella tallennettua äänisignaalia. Aures Reporting-  
ohjelmiston työkalujen avulla puolestaan voidaan tutkia mitattuja äänenpainetasoja ha-  
lutuilla taajuuspainotuksilla ja integrointiajoilla, sekä tutkia äänen taajuuksien jaka-  
antumista eli sen spektrejä.

Edellä mainittuja ominaisuuksia ei melumittauksissa käytettävissä, perinteisissä äänita-  
somittareissa ole ollut. Teknologian kehityksen myötä markkinoille on tullut uuden-  
tyyppisiä mittalaitteita, joiden hyödyntämismahdollisuuksia ei tule jatkossa sivuuttaa.

## 4.2 Mittausten kulku

Henkilökohtaiset melumittaukset suoritettiin antamalla Brüel & Kjaerin meluannosmit-  
tari työntekijän mukaan normaalin työpäivän ajaksi. Mittarin mikrofonipää kiinnitettiin  
korvan lähettyville olkapäähän. Mittari mittasi yleensä noin 5–7h:n ajanjakson mahdol-  
lisimman tavanomaisen päivän aikana. Työntekijää pyydettiin täyttämään mittauspöytä-  
kirja ja kuvailemaan työtehtäviään, sekä arviomaan oliko päivä ollut tyypillinen työpäi-  
vä vai oliko tapahtunut jotain tavanomaisesta poikkeavaa, kuten konerikkoja tai muita  
keskeytyksiä. Lopuksi kysyttiin myös työntekijän arviota siitä, oliko päivä ollut melun  
kannalta rauhallinen, normaali vai meluisa.

TyöpiSTEEN melutasoja mitattiin asettamalla Aures datalogger mahdollisimman edusta-  
vaan paikkaan niin, että se ei kuitenkaan olisi työnteon tiellä. Mittari käynnistettiin ja  
sammutettiin manuaalisesti ja aloitusajat kirjattiin ylös myöhempää tulosten purkua  
varten. Mittauksissa avusti työsuojeluasiamies Ari Rintala.

Mittaukset suoritettiin seuraavissa mittauspisteissä

- kotelotehdas/moduuliasennus, vaihe 5
- pilot/lohkon osakokoonpano
- pilot kokoonpano/ solu 2
- kiertokankitehdas
  - jäystö
  - latausasemat 1 ja 3
- lohkovalmistus/jäystö
- sylinterikansitehdas
  - jäystö
  - koneistus
- pilot/generaattorisolu

### 4.3 Tulosten käsittely

Tulosten tarkastelussa on esitetty jokaisesta mittauspisteestä ensin Aures dataloggerin antamat A-äänepainetasojen minimi-, maksimi- ja keskitasot ajan funktiona. Samaan kuvaan on myös piirretty koko päivän mittausta vastaava  $L_{Aeq}$  arvo. Vertailun vuoksi tuloksia tarkastellaan ensin tunnin aikafunktiolla ja tämän jälkeen minuutin tarkastelujaksoissa, jotta havainnollistuu aikafunktion merkitys tulosten analysoinnissa. Lyhyemmällä aikaikkunalla saadaan tarkempaa tietoa melun käyttäytymisestä ja poikkeavista tapahtumista mittausjakson aikana. Kuvaajiin on ympyröity kiinnostavia hetkiä, jolloin melutaso on kasvanut jonkin tapahtuman seurauksena. Hetkiä on tutkittu tarkemmin tutkittu Aures Analyzer-ohjelmiston avulla, joka näyttää mittauksen historiadata sekunnin aikajaksolla. Näin on saatu määritettyä spektrikuvaajia varten tarkat ajankohdat, joilta spektri halutaan selvittää. Mittaustulosten runsauden vuoksi rajoitutaan kuitenkin tutkimaan vain sellaisia hetkiä, jolloin keskimelutaso kohoaa yli 80 desibelin (A) tai hetkiä, jotka ovat muutoin erityisen mielenkiintoisia.

Spektrikuvaajissa rajoitutaan tarkastelemaan kuulon kannalta oleellisia alueita jättäen kaikista matalimmat ja korkeimmat taajuudet käsittelemättä, sillä näillä taajuuksilla ääni on infraääntä, jota ihminen ei kuule. Käytännössä tämä tarkoittaa, että spektrikuvaajat rajoittuvat taajuuksille 100 Hz–8000 Hz.

Lopuksi vertaillaan tuloksia eri mittalaitteiden välillä: samaan kuvaajaan on piirretty sekä Brüel & Kjaerin että Aureksen antamat ekvivalenttimelutason  $L_{Aeq}$  arvot ajan funktiona minuutin integrointiajalla. Tästä kuvaajasta nähdään helposti erot ja yhtäläisyydet eri mittaustapojen välillä, sekä se, miten tulokset käyttäytyvät toistensa suhteen.

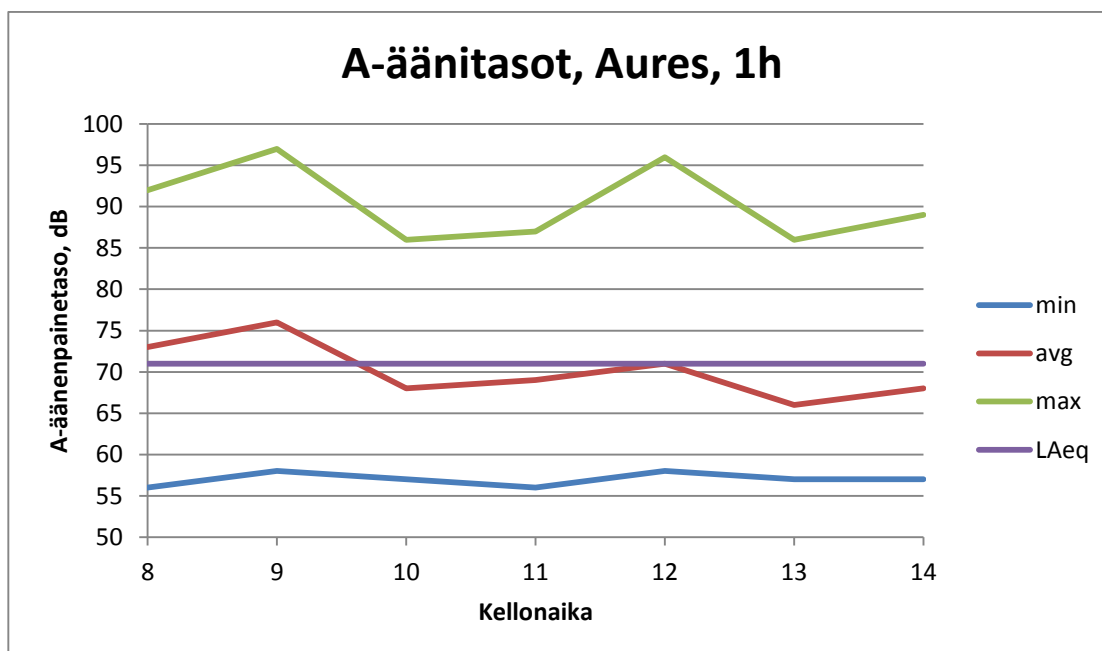
## 5 MITTAUSTULOKSET

### 5.1 Kotelotehdas, 5 vaihe

Kotelotehtaan mittaukset suoritettiin molemmilla Brüel & Kjaer henkilökohtaisella meluannosmittarilla sekä työpisteelle sijoitettavalla kiinteällä Aures dataloggerilla.

$L_{Aeq}$  arvoina ilmaistuna päivän mittaustulokset ovat 71 dB:ä (Aures), 82 dB:ä (B&K, 4) ja 71 dB:ä (B&K, 5). Lainsäädännön puitteissa tulokset eivät ole merkittäviä, vain yksi tulos ylittää alemman toiminta-arvon ja velvoittaa työnantajaa tarjoamaan mahdollisuuden kuulosuojainten käyttöön. Tulokset voivat kuitenkin sisältää paljon muuta mielenkiintoista informaatiota, joten tuloksia on aiheellista tutkia hieman perusteellisemmin.

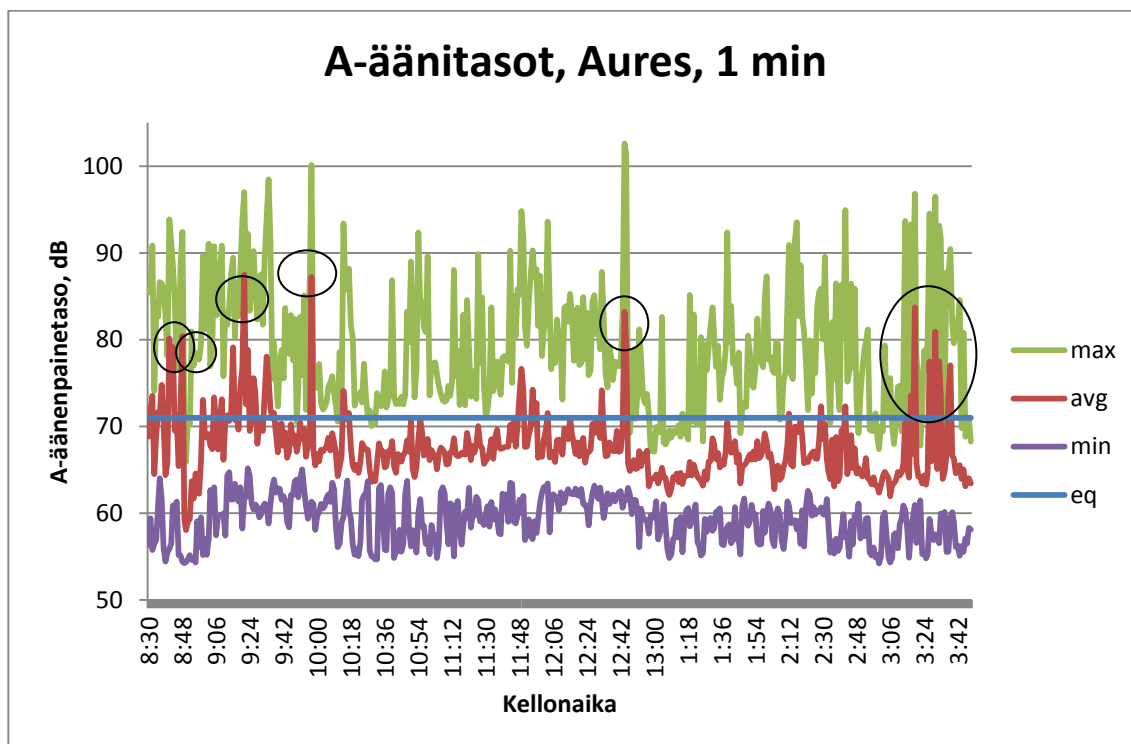
Kotelotehtaalla on tapahtunut mittausjakson aikana kaksi huomioita herättävää tapahtumaa, jotka näkyvät kuvassa 6 maksimitasojen kasvuna yli 95 desibelin. Muutoin tasot pysyvät melko tasaisen matalina.



Kuva 6: kotelotehtaan A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Samat ilmiöt näkyvät kuvassa 7 selkeämmin tasojen nousuna. Tasot heilahtelevat ekvivalenttitason ympärillä, kertoen siitä, että mittausjakson aikana on ollut sekä hiljaisia,

että erittäin meluisia hetkiä. Keskimääräisen melutason noustessa huomattavasti ekvivalenttitasoa korkeammaksi on melua ollut enemmän, kuin hiljaisuutta.



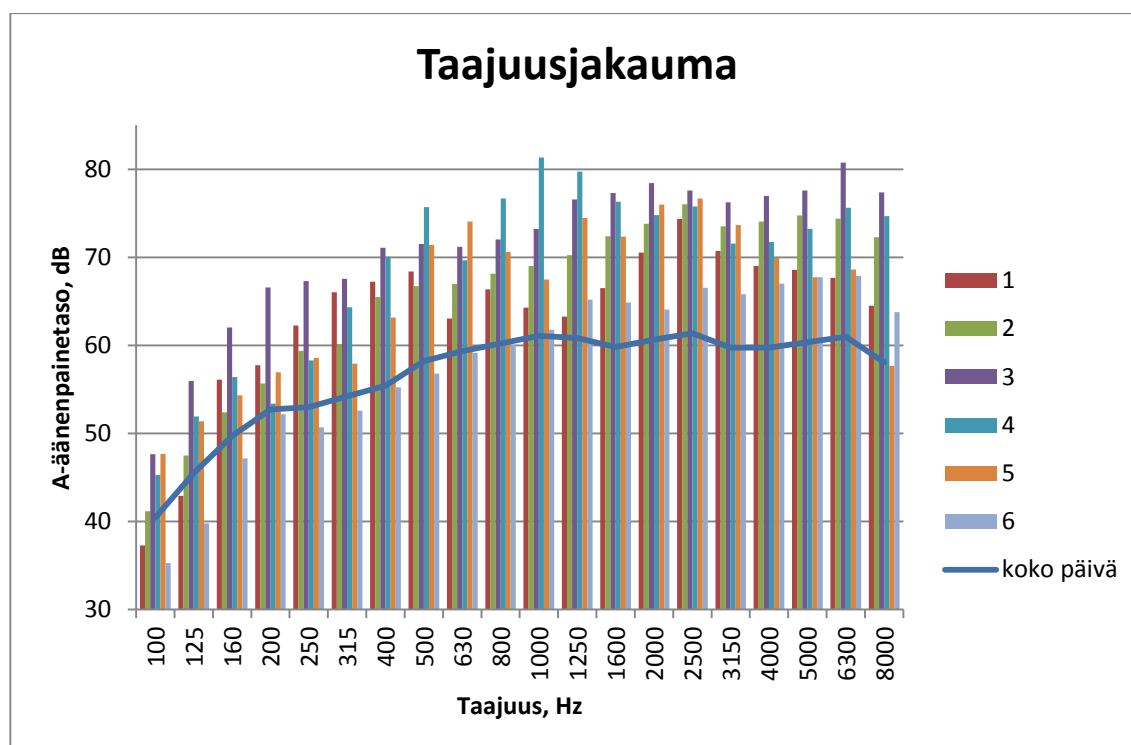
**Kuva 7:** kotelotehtaan A-äänipainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

Kuvaajista käy selkeästi ilmi aikafunktion merkitys mittaustuloksiin, eli mitä pidempi tarkastelujakson kesto on, sitä enemmän se tasoittaa äänenpainetason vaihtelua. Lyhennettäessä tarkastelujaksoa entisestään, esimerkiksi sekunnin mittaiseksi, havaittaisiin kuvaajassa vieläkin enemmän vaihtelua.

Vaikka melun voimakkuus ei ole merkittävän suuri, voi spektri olla häiritsevä kuvassa 7 havainnollistettuina hetkinä. Melutapahtumat sijoittuvat ajankohtiin

- 1) 08.41.00–08.42.00
- 2) 08.48.00–08.48.30
- 3) 09.21.00–09.22.00
- 4) 09.57.00–09.58.00
- 5) 12.44.30–12.45.45
- 6) 15.19.00–15.33.00

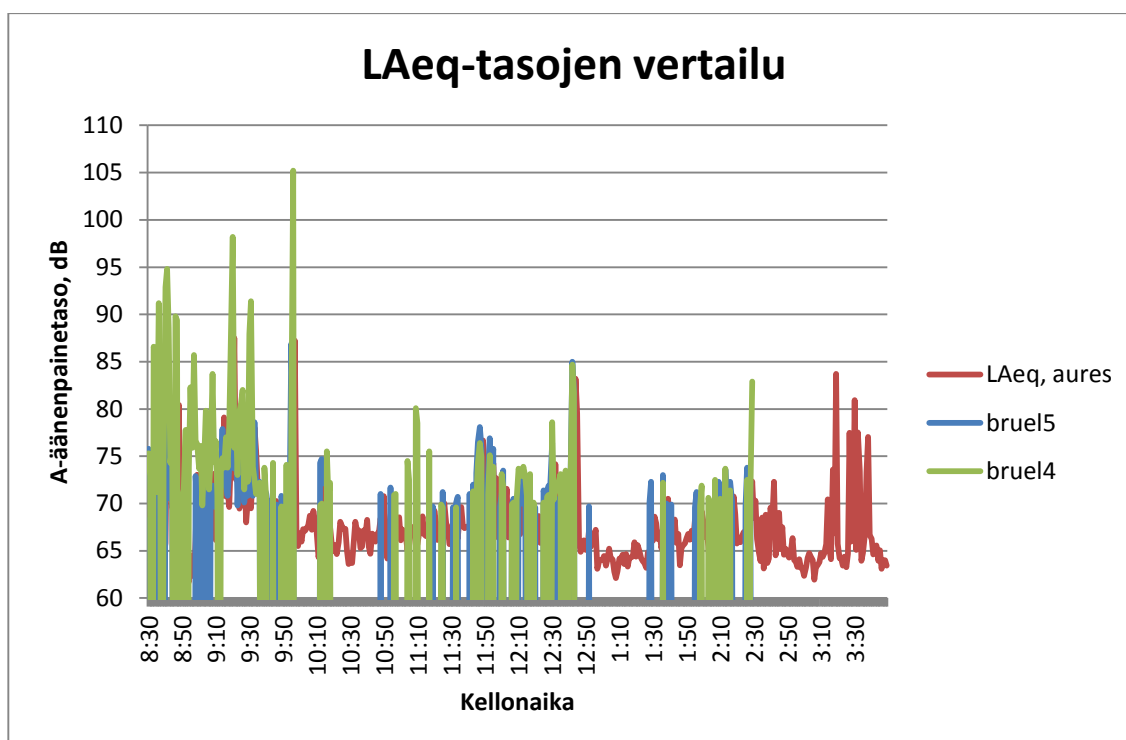
Kotelotehtaan eri työpisteillä tehdään eri tehtäviä, joten myös meluolosuhteet ovat täysin erilaiset, vaikka pelkän ekvivalenttitason mukaan tilanne näyttää olevan samanlainen. Koko päivän taajuusjakauma näyttää tasaiselta ja tavanomaiselta, eikä mikään tietty taajuus nouse erityisesti esiin. Melutapahtumat ovat kuitenkin luonteeltaan erilaisia (kuva 8).



Kuva 8: kototehtaan mittaustulosten tarkastelua taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Pitkä mittausjakso selittää sen, että koko päivän spektri on tasainen. Melu on tasaisesti jakautunut eri taajuuksille, eikä tilassa ole esimerkiksi jatkuvaa, tietylle kaistalle painotunutta häiritsevää ääntä. Tarkasteltujen melutapahtumien spektrit ovat keskenään erilaisia, joten kovat äänet ovat siis luonteeltaan aivan erilaisia, kuulostavat erilaisilta ja ovat todennäköisesti lähtöisin eri lähteistä.

Kuva 9 osoittaa erot eri mittausmenetelmien välillä. Aureksen mittaustulokset eroavat huomattavasti henkilökohtaisten mittareiden antamista tuloksista, sillä sen mittaama melu jatkuu läpi päivän, kun taas henkilökohtaisten mittareiden tulokset heittelevät rajusti. Työpäivään mahtuu hetkiä, jolloin melutaso kohoaa, mutta myös hetkiä jolloin edes mittarin mittauskynnys (70 dB) ei ylity.



Kuva 9: eri mittalaitteiden A-äänepainetaso mittaustulosten vertailu kotelotehtaalla

Tulosten perusteella työpäivä näyttää jakaantuneen selvästi erilaisiin ajanjaksoihin; kolmeen meluisaan hetkeen, joiden välillä on ollut rauhallista (kuva 9). Melutasojen nousut eivät toistu samanlaisina, vaan piikit ovat hajanaisia ja suhteellisen matalia. Taustamelu mittauksessa pysyttelee melko tasaisena. Iltapäivällä melutasojen nousu on säännöllisempää, joten piikit aiheuttaa luultavasti jokin toistuva työvaihe.

Taulukkoon 3 on koottu eri mittareiden antamat tulokset, jotka ovat kaikki lainsäädännön mukaan hyväksyttävällä tasolla.

Taulukko 3: Mittaustulokset

Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	71					
B&K 4	82	93	83	77	< 69	< 69
B&K 5	71	83	77	74	< 69	< 69

Tuloksista voi päätellä, että työntekijät ovat työpäivän aikana liikkuneet paljon eivätkä he ole olleet koko päivää omalla työpisteellään. Mittauspöytäkirjojen ja työntekijöiden kommenttien perusteella tämä pitääkin paikkaansa, sillä työt tällä nimenomaisella työpisteellä loppuivat jo klo 9.30 johtuen osien puutteesta. Suurimmat melutasot painottuvat aamu- ja iltapäivään, jolloin pisteellä on työskennelty, mutta muutoin mittaustulokset edustavat suurilta osin taustamelua ja satunnaisia kolahduksia.

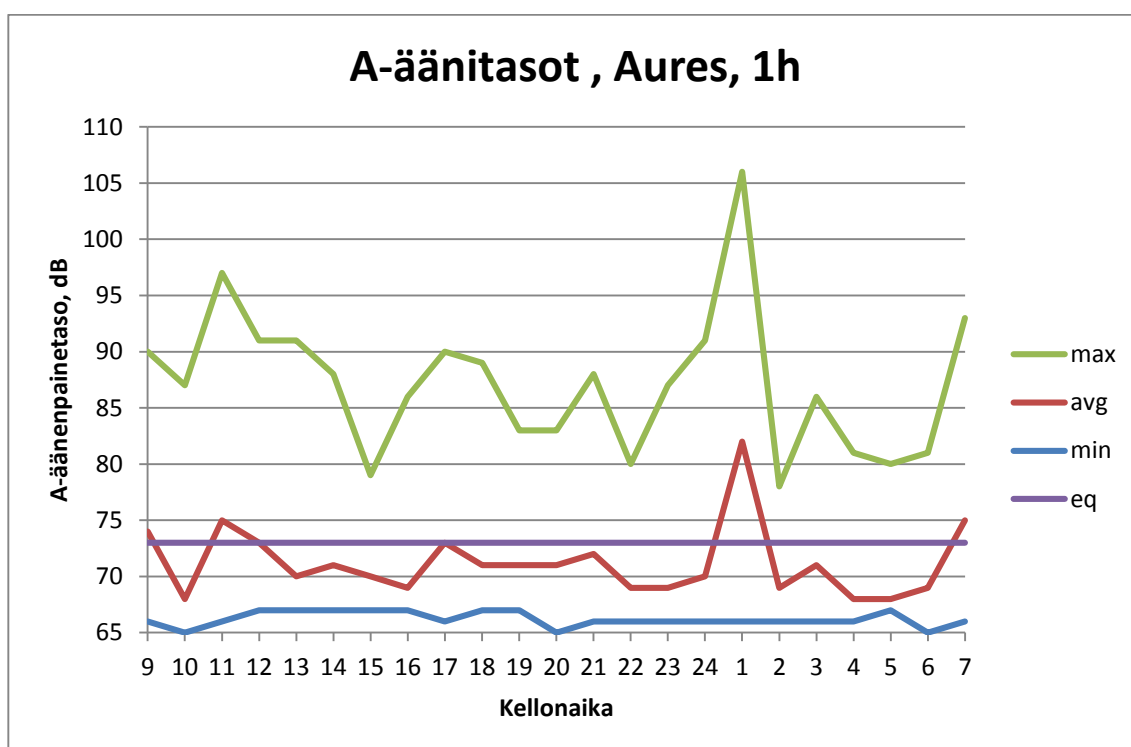


## 5.2 Pilot

### 5.2.1 Lohko-osakokoonpano

Pilot-tehtaalla lohkojen osakokoonpanossa työtä tehdään vuoroissa, joten vertailun vuoksi mittaukset tehtiin Aureksella sekä aamu- että iltavuorossa.

Koko mittausjakson ekvivalenttimelutaso  $L_{Aeq}$  on 73 dB:ä. Minimitaso ja keski- sekä ekvivalenttitasot ovat lähellä toisiaan suurimman osan ajasta (kuva 10). Tämä puolestaan merkitsee sitä, että suurimman osan ajasta melutaso on matalahko, jopa matalampi mitä ekvivalenttimelutaso antaa ymmärtää.

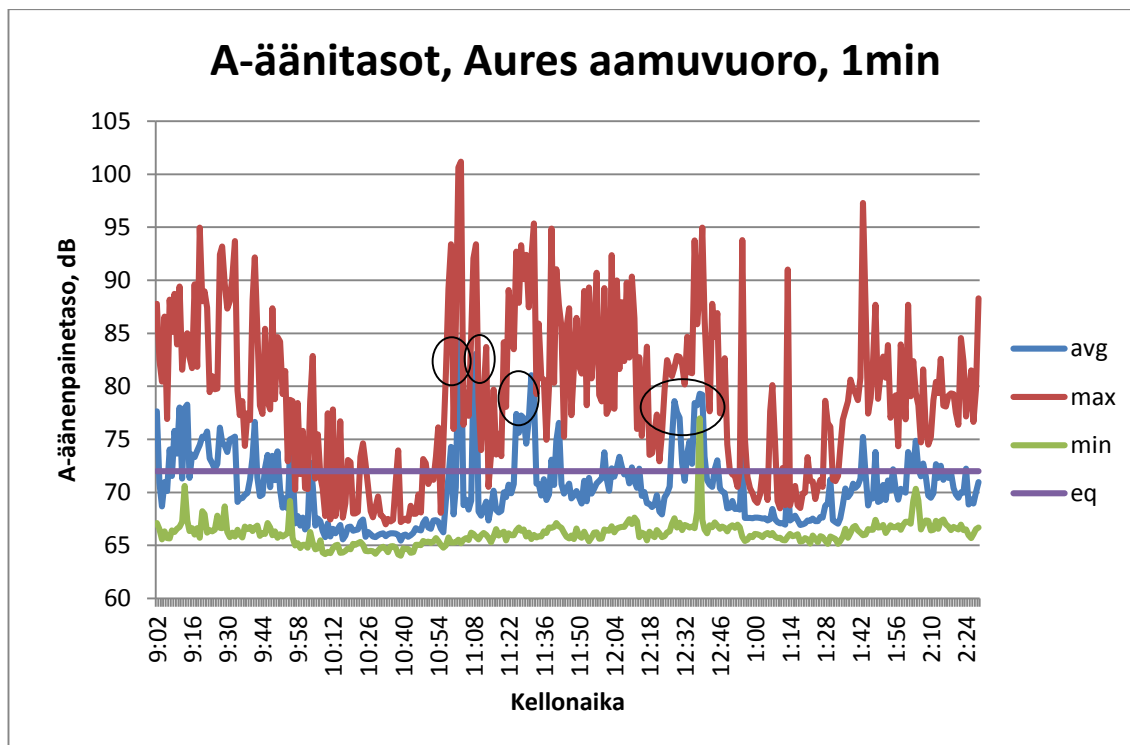


Kuva 10: Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Mittausjakson aikana on tapahtunut muutama poikkeava melutapahtuma. Nämä hetkeliset äänenpainetasojen heilahdukset ja tuotannossa esiintyvät voimakkaat äänet nostavat ekvivalenttitason arvoa suuremmaksi kuin keskimääräinen taso on. Maksimi- ja keskitasokäyrien muodot vastaavat toisiaan, mikä on tasaisesta taustamelusta johtuen looginen ilmiö.

### Aamuvuoro

Aamuvuoron mittausajankohta on noin klo 9–13.30. Lyhyemmällä tarkastelujaksolla ekvivalenttitaso on hieman matalampi,  $L_{Aeq} = 72$  dB. Kuvan 11 tulosten perusteella melutaso on melko tasaisen matala, mutta lyhytkestoisia ja voimakkaita ääniä esiintyy pitkin päivää.



**Kuva 11:** Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon aamuvuoron A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

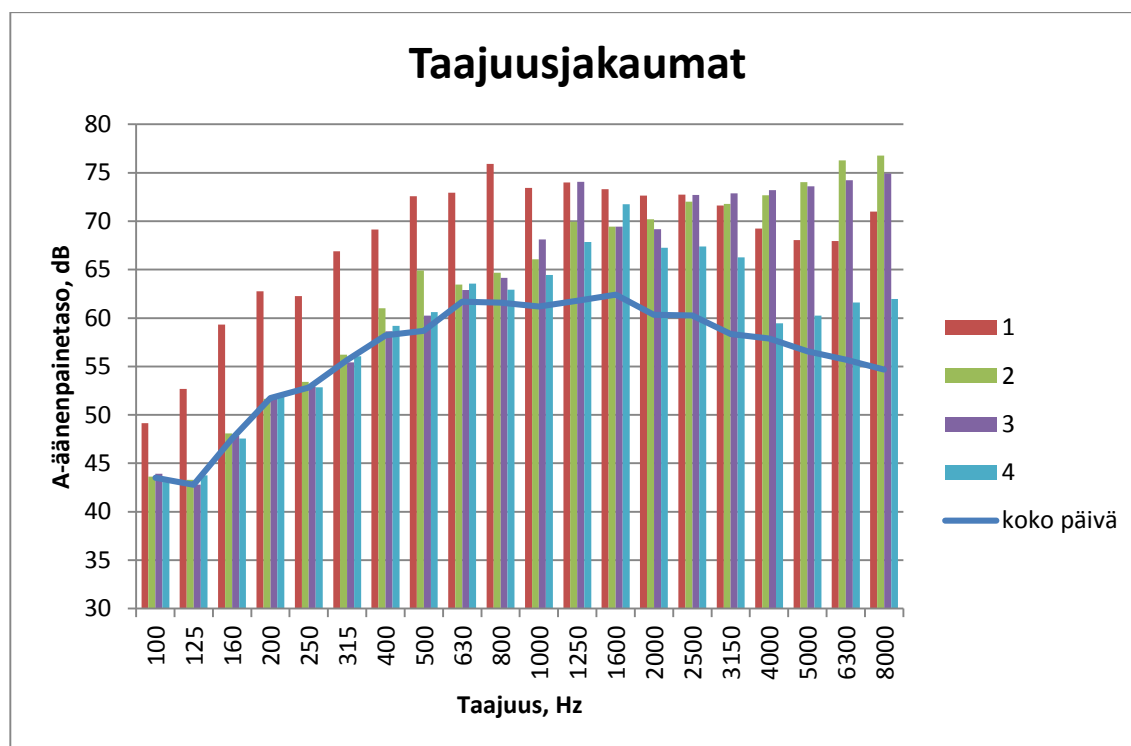
Vaikka työpisteellä melutaso on pysynyt melko tasaisena, neljä poikkeavaa tapahtumaa herättävät mielenkiinnon. Tapahtumien ajankohdat sijoittuvat keskipäivään seuraavasti (kuva 11)

- 1) 11.02.00–11.04.00
- 2) 11.08.00–11.10.00
- 3) 11.31.00–11.32.15
- 4) 12.28.00–12.40.00

Vaikka iltpäivään sijoittuva neljäs ajanhetki ei ylitä 80 dB:n kynnystä, on se mielenkiintoinen sen vuoksi, että se on kestänyt suhteellisen pitkään ja se on samantyyppinen päivän ensimmäisen tarkasteltavan ajanhetken kanssa. Tämän lisäksi minimitasossa tapahtuu samanaikaisesti poikkeava hyppäys.

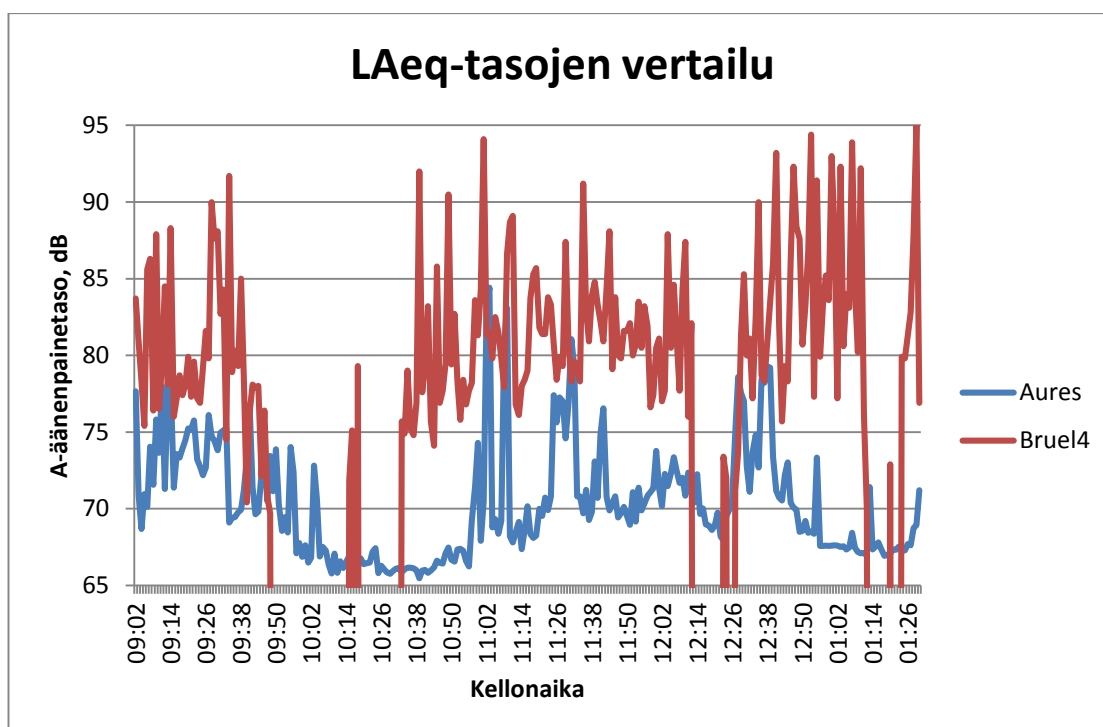
Tarkasteltavien tapahtumien taajuusjakaumia (kuva 12) ovat keskenään hyvin erilaisia. Spektrit 1 ja 4 ovat muodoltaan melko samanlaisia mutta ensimmäisen tapahtuma on

kokonaisuudessaan voimakkaampi. Molemmat äänet painottuvat keskitaajuuksille. Myös spektrit 2 ja 3 ovat muodoltaan samankaltaisia ja lähes yhtä voimakkaita. Taajuuksien painottuvat muita taajuuksia enemmän korkeille taajuuksille. Spekrien perusteella kyseessä on todennäköisesti kaksi eri äänilähdettä, joista toisesta on peräisin äänet 1 ja 4, ja toisesta äänet 2 ja 3.



**Kuva 12: Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon mittaustulosten tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin**

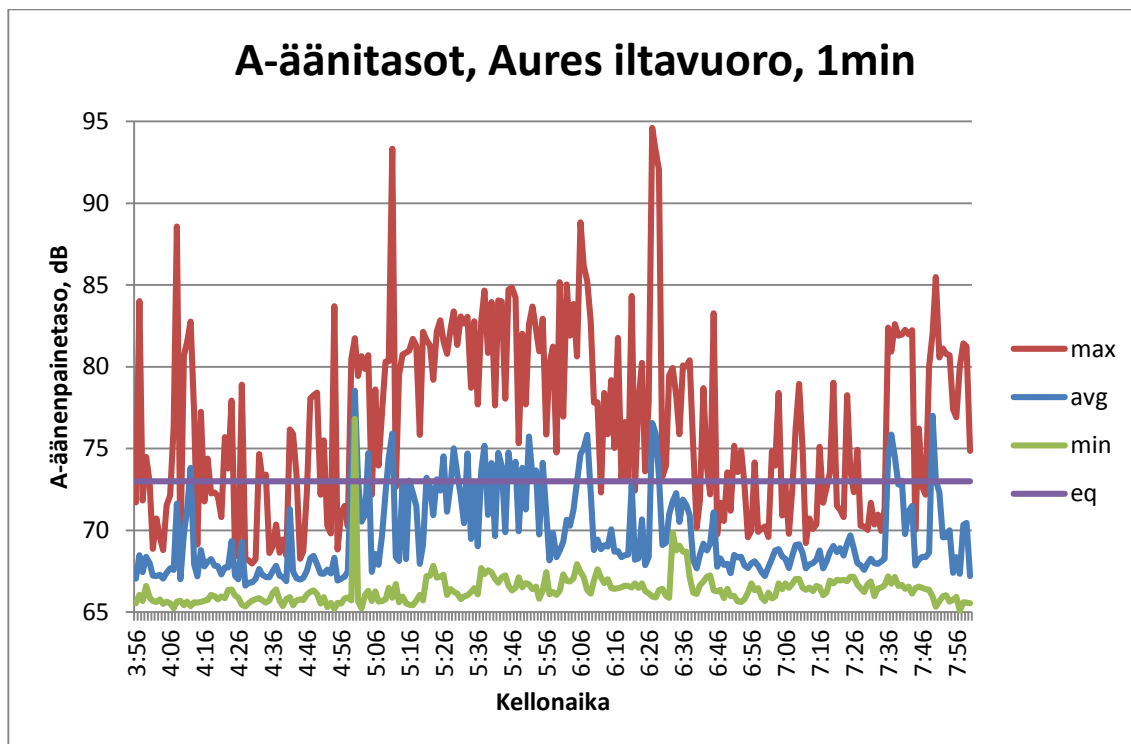
Melutasojen kiivaasta vaihtelusta päätellen työpisteellä on todella työskennelty (kuva 12). Työtehtävinä on ollut lohkon pesua, puhallusta, runkovaarnojen ja satuloiden kiinnittämistä, lämpöantureiden johtojen kiinnittämistä ja lohkon kääntöä. Ruokatauko on pidetty kello 10 aikaan, mikä näkyy kuvista 11 ja 12 molempien mittareiden melutasojen laskuna. Tällöin molempien mittareiden lukemat laskevat, eli työpisteen melu on pääosin vaimean taustamelun aiheuttamaa. Henkilökohtainen mittari puolestaan on rekisteröinyt tällöinkin muutamat voimakkaamman äänen, kuten huudahduksen tai kolahduksen. Muutoin melutasot vastaavat toisiaan suurimman osan ajasta laskien ja nousten yhtä aikaa, muutamaa poikkeavaa jaksoa lukuun ottamatta klo 11, 11.20 ja 12.45 alkaen. Luultavasti tällöin työntekijä ei ole ollut aivan mittauspisteen läheisyydessä, vaan tehnyt joitakin muita tehtäviä ehkä lohkon toisella puolella.



Kuva 13: eri mittalaitteiden A-äänenpainetason mittaustulosten vertailu lohkojen Pilot-tehtaan osakokoonpanossa

### *Iltavuoro*

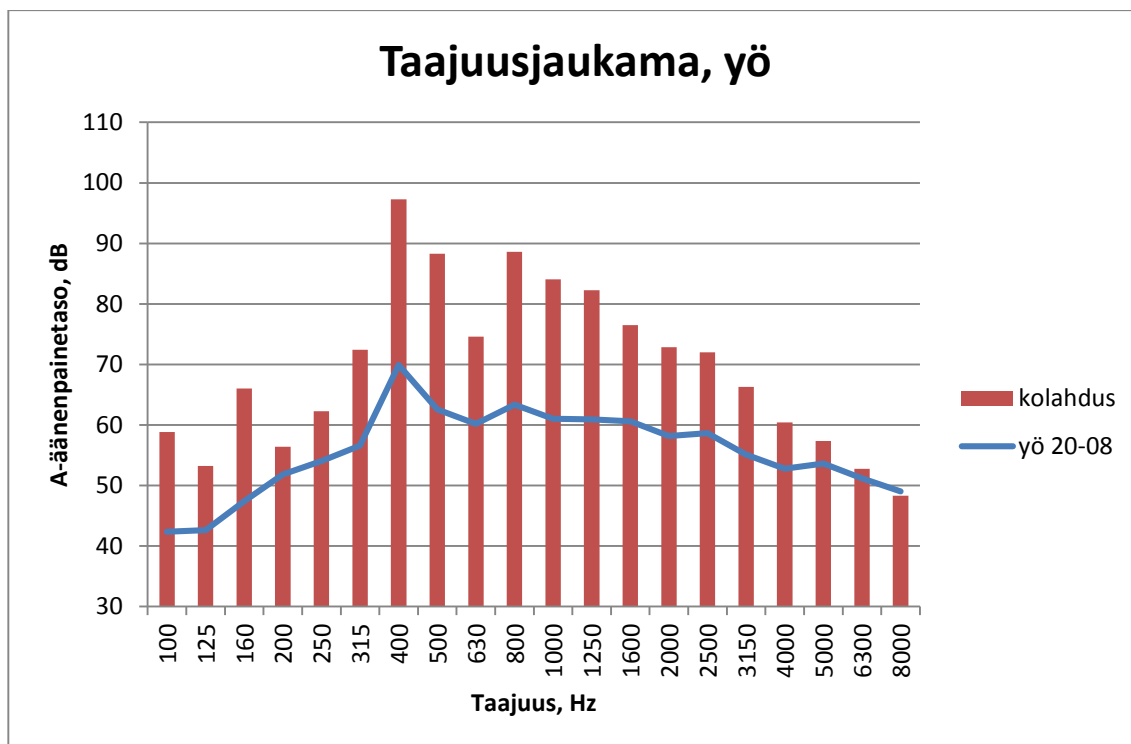
Iltavuoron ajalta mitattuna, eli noin kello 16–20 välinen ekvivalenttimelutaso  $L_{Aeq}$  on 73 dB (kuva 14). Keskimääräinen melutaso pysyttelee suurimman osan ajasta jopa alle 75 dB:n, eikä 80 dB:ä ylity kertaakaan, eli iltavuoron aikana on ollut rauhallista. Vaikka maksimitasot heittelevät jonkin verran, ei tämä varsinaisesti näy keski- tai minimitasojen käyttäytymisessä (kuva 10, kuva 14). Täten ei ole tarpeellista tutkia taajuusjakaumaakaan.



Kuva 14: Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon iltavuoron A-äänenpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

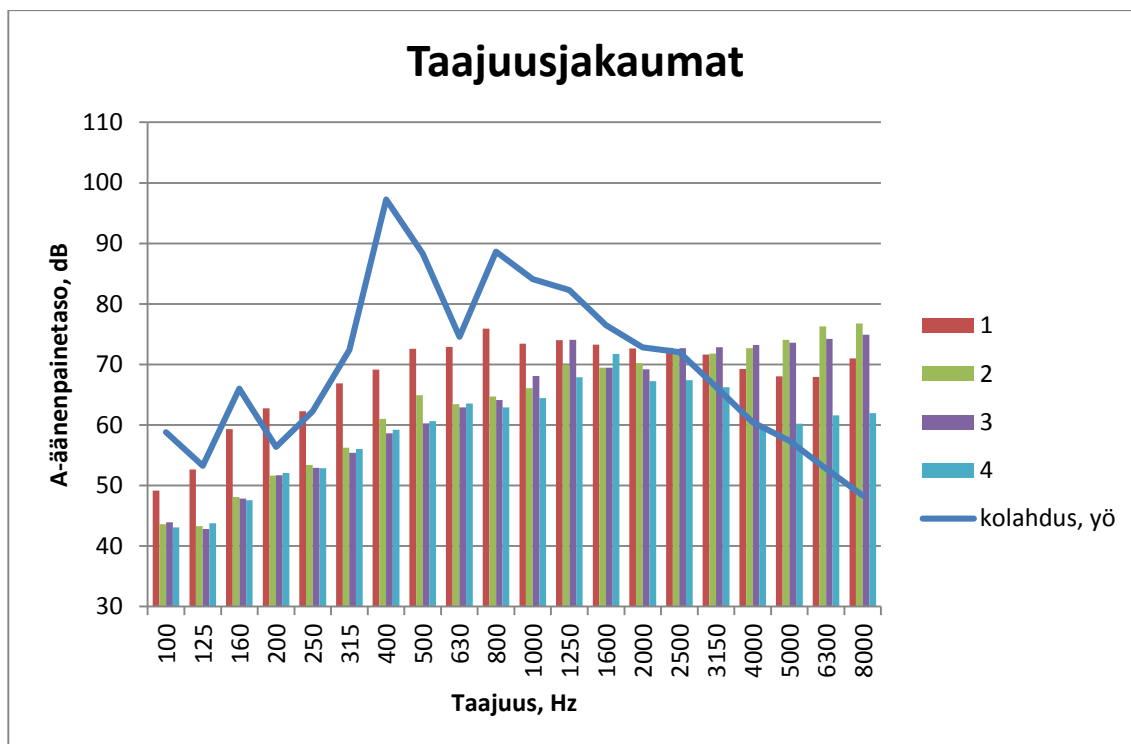
### Yö

Yön tapahtumat eivät tavallisesti ole merkityksellisiä, mutta edellä, kuvassa 10 näkyy poikkeuksellisen suuri melutason nousu, joka herättää mielenkiinnon. Mistä tämä äkillinen ja hyvin voimakas piikki johtuu? Melutaso kohoaa tapahtuman vaikutuksesta 106 dB:n (A) tasolle, vaikka se muutoin on hyvin matala. Koko yön (klo 20–08) taajuusjakauma sekä klo 01.40–01.41 kuuluneen voimakkaan äänen spektrit ovat muodoltaan samanlaiset ja 400 Hz:n tuntumassa on hyppäys myös koko yön spektrissä (kuva 15), johtuen kolahduksen voimakkuudesta juuri tällä taajuudella.



**Kuva 15: Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon yön mittaustulosten tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa yön spektriin**

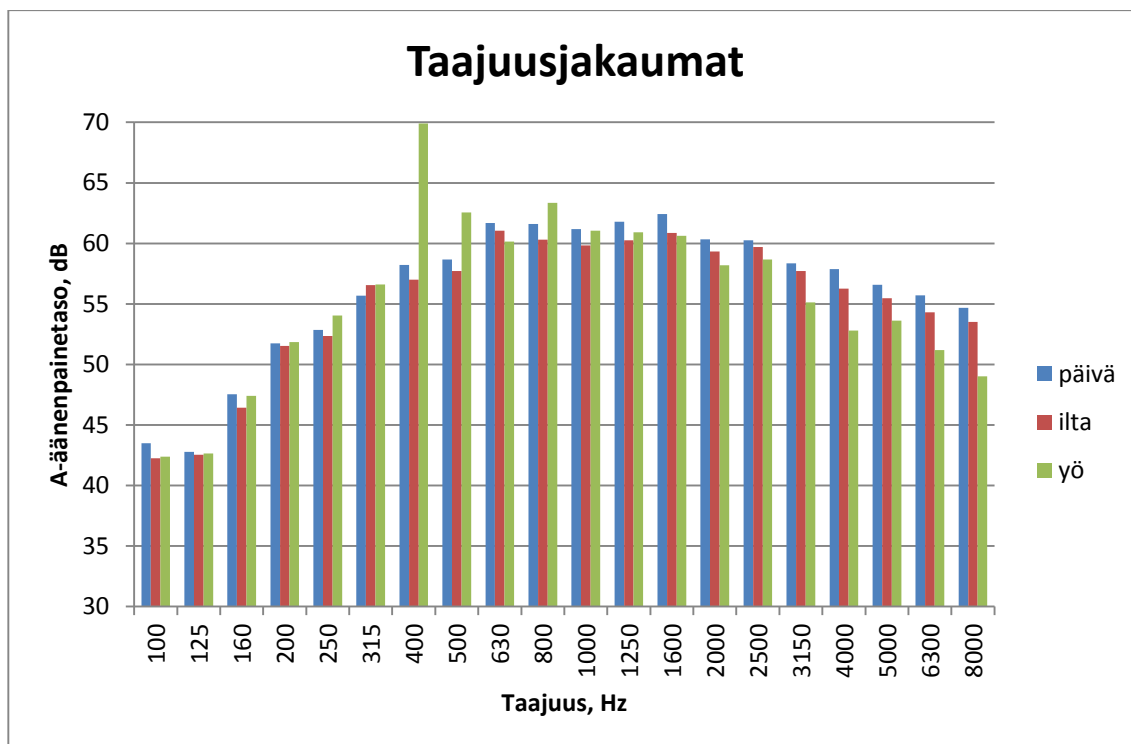
Kolahduksen spektri poikkeaa muista päivän aikana havaittujen spektrien kuvaajista (kuva 16). Kyseinen ääni ei siis ole mikään tavallisesti työympäristössä esiintyvä ääni, vaan datan kuuntelun perusteella kyseessä voisi olla läheisen työstökoneen, Burkhart & Weber koneistuskeskuksen tuottama ääni. Tavallisesti konetta käytetään iltaisin ja öisin juuri sen tuottaman voimakkaan melun takia, mutta toisinaan myös päivisin, mikä puolestaan nostaa melutasoa koneen ympäristössä.



Kuva 16: Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon päivän mittaustulosten tarkastelu taajuuskais-toittain sekä yön poikkeuksellisen kolahduksen spektri

### ***Vuorojen vertailu***

Vuorojen taajuusjakaumat ovat melko samanlaisia lukuun ottamatta yöllä esiintynyttä ääntä, joka aiheuttaa poikkeavuuksia yön spektriin 400–800 Hz:n taajuuksilla (kuva 17). Muutoin, kuten oletettavaakin on, päivä- ja iltavuorossa esiintyy useammilla taajuuksilla voimakkaampia ääniä kuin yöllä, painottuen korkeille taajuuksille.



Kuva 17: Pilot-tehtaan lohkojen osa-kokoonpanon päivän, illan ja yön mittaustulosten vertailu taajuuskaistoittain

Taulukkoon 4 on koottu kaikki mittaustulokset. Kaikki ovat lainsäädännön määrittämän alemman toiminta-arvon alapuolella.

Taulukko 4: Mittaustulokset

Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures, aamu	73					
Aures, ilta	71					
B&K4, aamu	84	94	91	88	79	< 69

Tulosten perusteella iltavuoron aikana vallitseva melutaso on hieman matalampi kuin päivällä. Tähän vaikuttaa se, että kaikkialla tehtaassa ei tehdä iltavuoroa tai se on huomattavasti hiljaisempaa työtä, jolloin koko hallin melutaso laskee verrattuna siihen mitä se on päivisin kaiken tuotannon ollessa käynnissä. Tavallisesti iltavuorossa on vähemmän ihmisiä töissä, mikä vaikuttaa myös melutasoon.

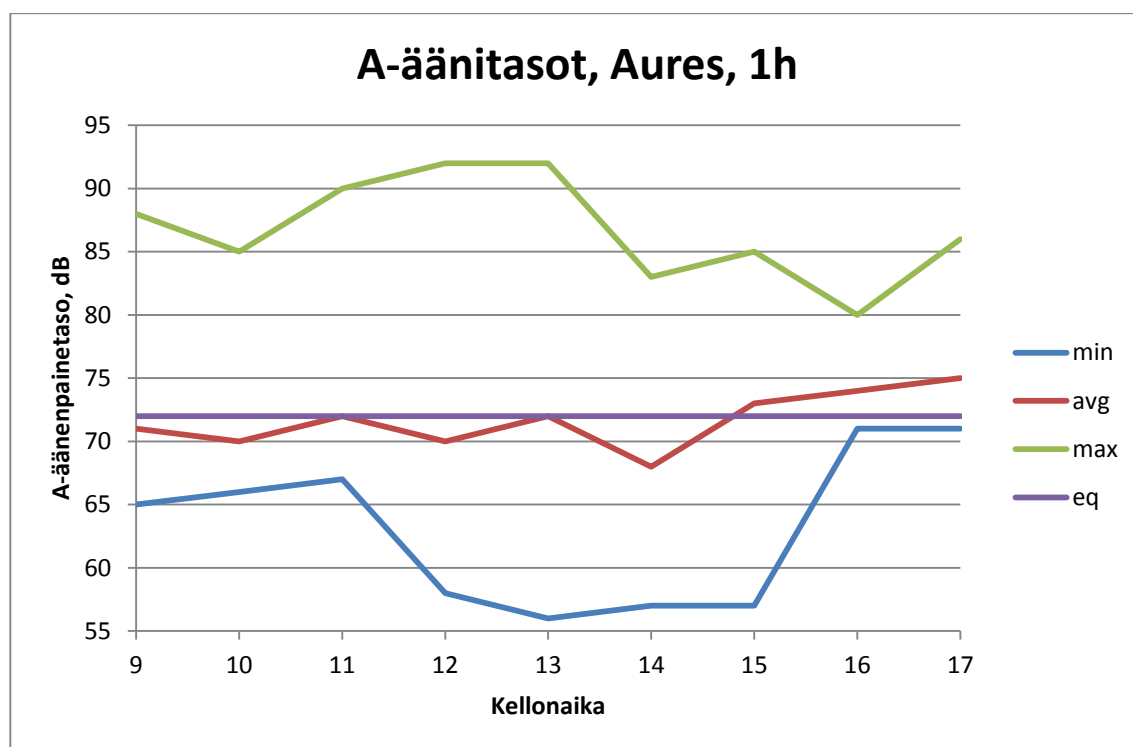
### 5.2.2 Genusolu

Pilotin genusolussa mitattiin käyttäen Aures dataloggeria ja kahta henkilökohtaista mittaria. Toista mittaria (B&K4) kantaneen työntekijän tehtäviin kuuluin nosto- ja asennustöitä genusolussa sekä moottoreiden vaihtoja koeajoissa. Toisen työntekijän (B&K5) työtehtäviin kuului kuljetustukien asennusta ja muuta kokoonpanoa. Ruokatauko pidet-



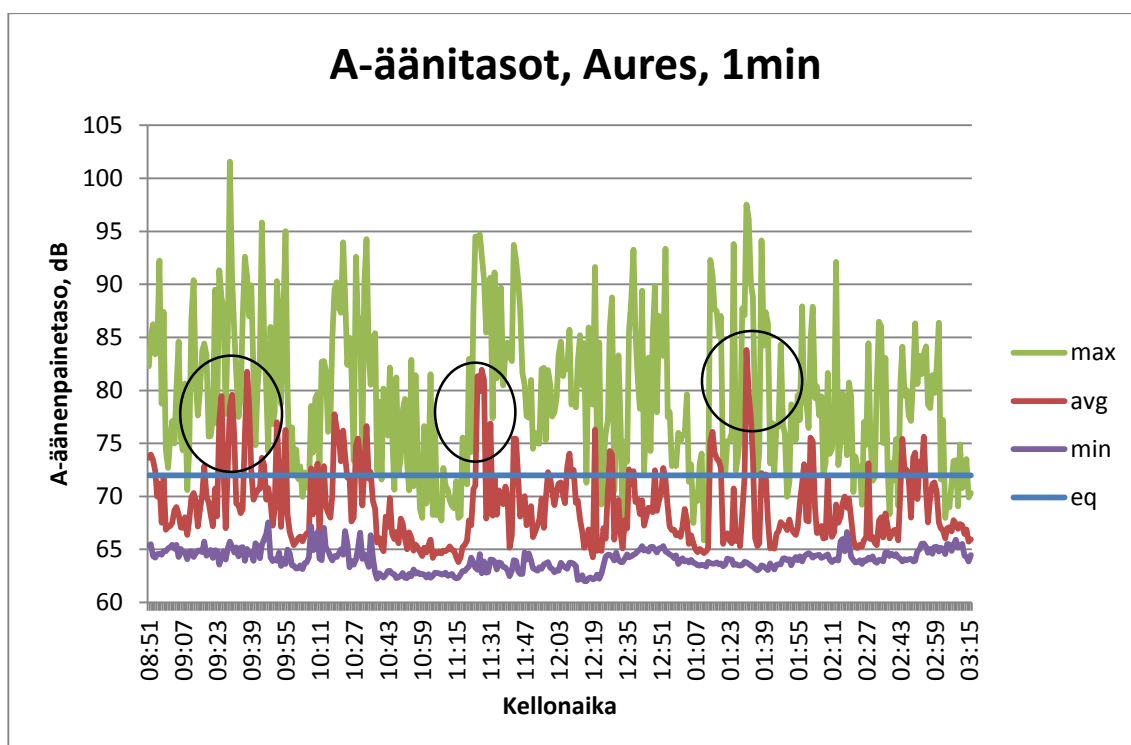
tiin noin kello 10–10.30. Päivä oli hieman tavanomaista hiljaisempi, sillä paineilmatyökaluja ei ollut käytössä, kuten tavallisesti on.

Päivä näyttää olleen hiljainen, sillä myös mittausjakson ekvivalenttiäänitaso  $L_{Aeq}$  on 72 dB:ä ja myös keskimääräinen melutaso pysyy alle 75 dB:n (A) (kuva 18). Minimitasois- sa tapahtuu kello 12 ja 15 välillä notkahdus, joka voi johtua esimerkiksi siitä, että jokin työympäristössä normaalisti oleva ja taustamelua aiheuttava kone on ollut pois käytöstä tai työpisteellä ei ole ollut tavanomaisia työtehtäviä käynnissä, kuten tässä tapauksessa paineilmatyökalujen kohdalla raportoitiin. Maksimiäänepainetaso on kuitenkin paikoi- tellen korkea, yli 90 dB:ä, mikä kertoo siitä, että työpisteellä on kuitenkin ollut satun- naista melua. Erityisen suuret erot minimi- ja maksimitasojen välillä tukevat myös tätä havaintoa.



**Kuva 18:** Pilot-tehtaan genusolun A-äänepainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttita- sot tunnin aikafunktiolla.

Keskimääräinen melutaso nousee paikoitellen yli 80 desibelin, vaikka samanaikaisesti minimitaso on hyvin matalalla (kuva 19). Melun keskitaso ei nouse yli 85 desibelin, mutta piikkien spektritarkastelun perusteella voidaan tehdä päätelmiä siitä millaista ääni on ja mistä se voi olla lähtöisin.

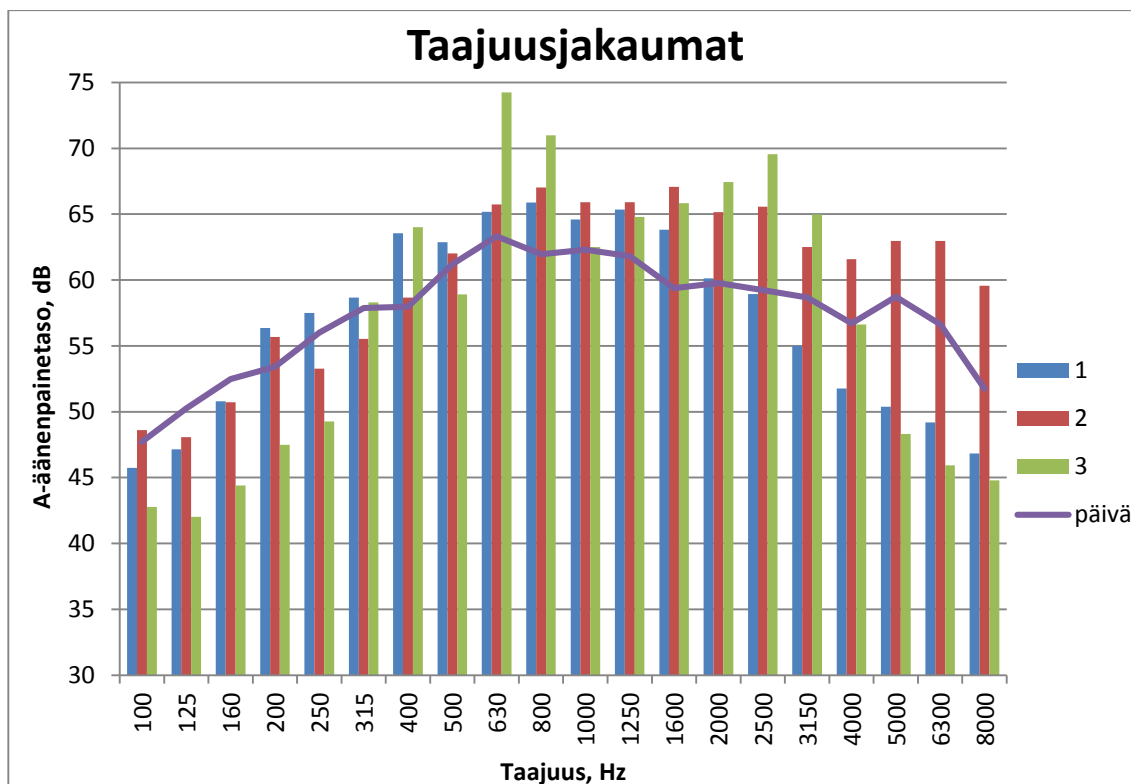


Kuva 19: Pilot-tehtaan genusolun A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Tarkasteltavat ajanhetket ovat

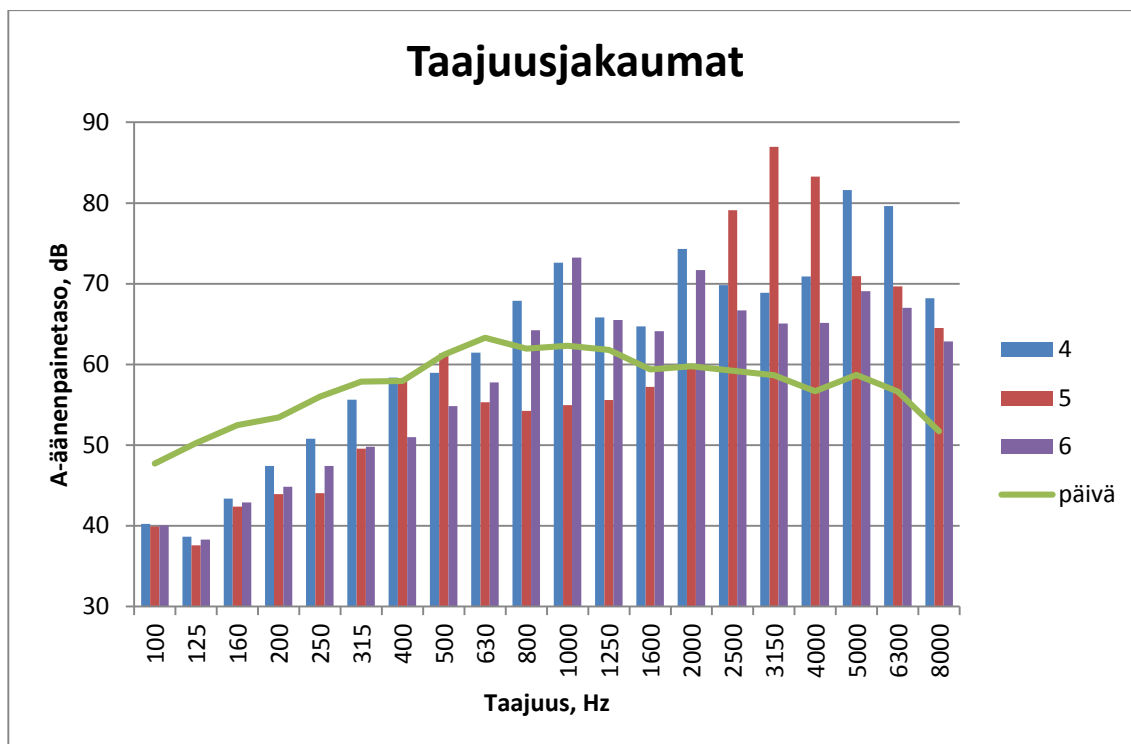
- 1) 09.28.30–09.29.30
- 2) 11.14.30–11.16.00
- 3) 13.37.20–13.37.25
- 4) 13.50.30–13.51.10
- 5) 13.51.15–13.51.25
- 6) 13.53.00–13.54.20
- 7) 13.55.50–13.57.50
- 8) 14.38.35–14.39.10

Kolme ensimmäistä spektriä ovat muodoltaan ja tasoiltaan aivan erilaisia (kuva 20). Ensimmäinen spektri on lievästi painottunut 400–1600 Hz:n välille, toinen spektri korkeille taajuuksille ja kolmas spektri keskitaajuuksille ensimmäisen spektrin tavoin, mutta paljon voimakkaammin, vaikka kokonaistaso ei olekaan erityisen korkea.



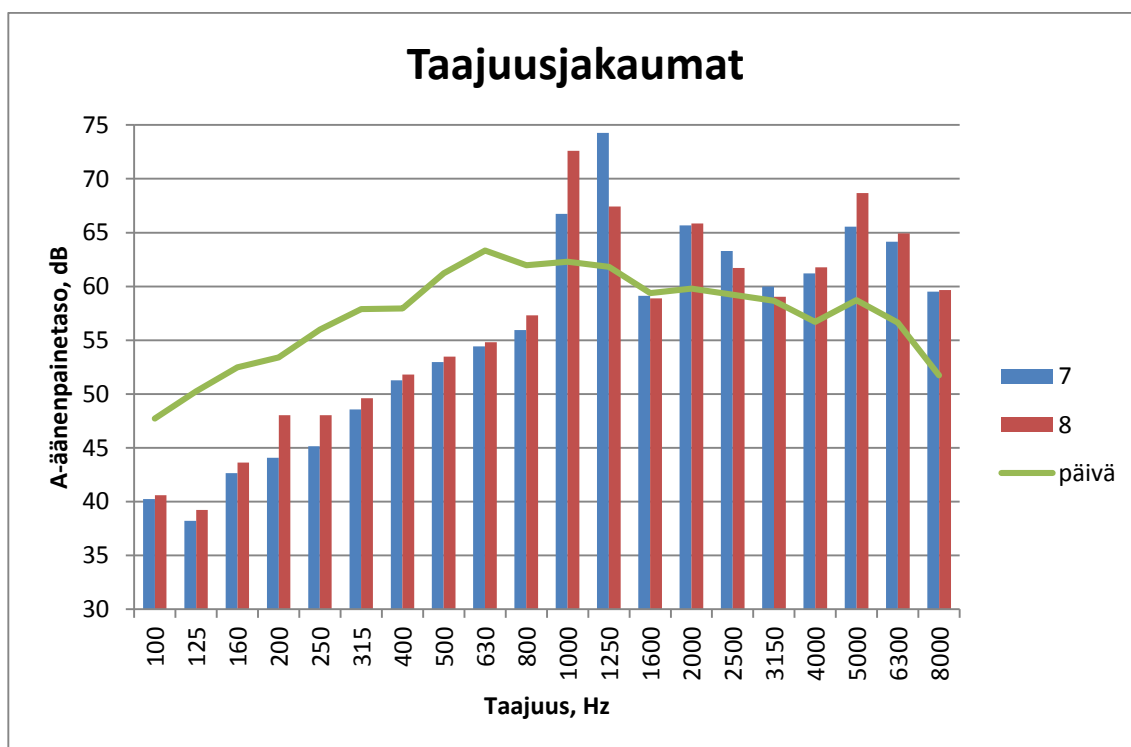
**Kuva 20: Pilot-tehtaan genusolun mittaustulosten 1–3 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin**

Myös kuvan 21 spektrit poikkeavat toisistaan muodon ja voimakkuuden perusteella. Spektri 4 painottuu useammalle eri taajuudelle, kun taas spektri 5 on voimakkain 2500–4000 Hz:n taajuuksilla. Kuudes spektri painottuu osaksi samoille keskitaajuuksille, kuin spektri 4, mutta korkeita taajuuksia siinä ei esiinny erityisen voimakkaina.



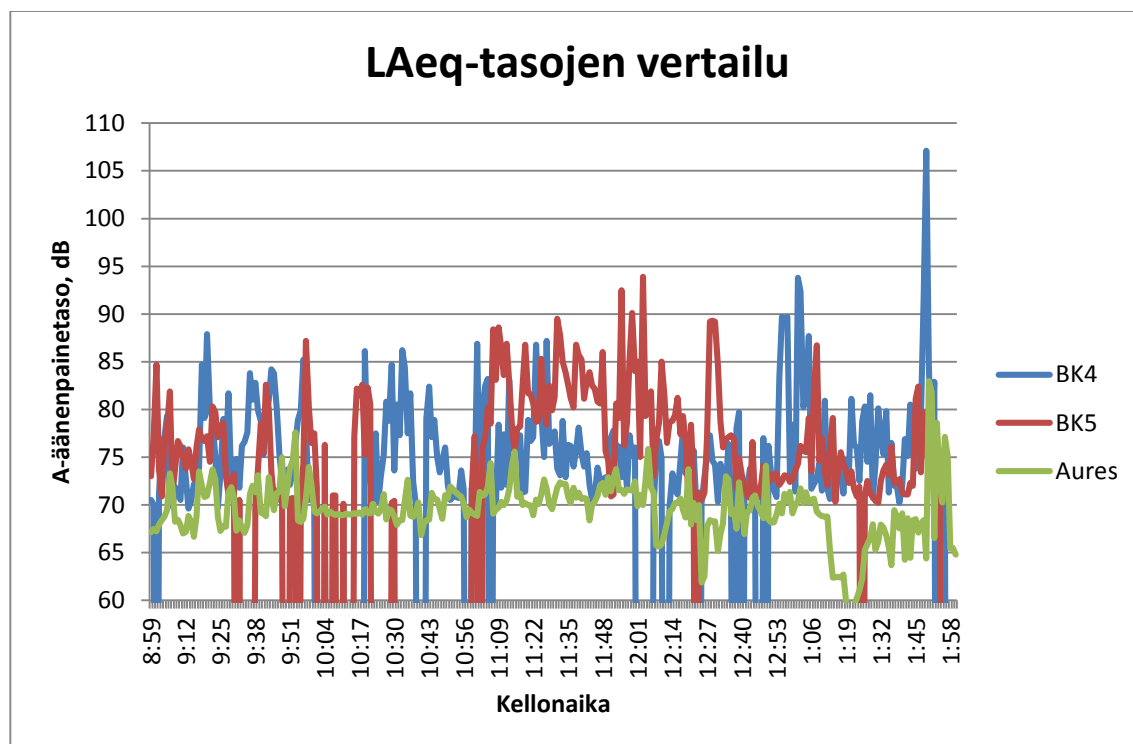
Kuva 21: Pilot-tehtaan genusolun mittaustulosten 4–6 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Kuvan 22 spektrit ovat lähes identtiset, suurimmat erot ovat taajuuksilla 1000–1250 Hz, joten äänet voivat kuulostaa hieman erilaisilta. Samankaltaisuuden perusteella kuitenkin on todennäköistä, että kyseiset melupiikit ovat peräisin samasta lähteestä.



Kuva 22: Pilot-tehtaan genusolun mittaustulosten 7–8 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Ekvivalenttimelutasoja vertailtaessa (kuva 23) on mittaustuloksissa joitakin yhtäläisyyksiä, esimerkiksi ruoka- ja kahvitaukojen aikana, mutta myös paljon eroavaisuuksia. Erot johtuvat yksinkertaisesti siitä, että työntekijät ovat liikkuneet pois omalta työpis- teeltään, kuten he myös mittauspöytäkirjoihin ilmoittivat.



Kuva 23: eri mittalaitteiden A-äänenpainetason mittaustulosten vertailu Pilot-tehtaan genusolussa

Taulukkoon 5 on koottu kaikki saadut mittaustulokset, joista myös ilmenee aiemmin todetut seikat melutasojen heilahteluiden ja niiden vaikutusten suhteen. Pääosin melu on tässä mittauspisteessä ollut riittävän matalalla tasolla, eikä lainsäädännön toiminta-arvot ylity a-ekvivalenttitasoa tarkasteltaessa. Vallitseva melutaso työpisteessä on huomatta- vasti matalampi, kuin se taso, mille työntekijä altistuu.

Taulukko 5: Mittaustulokset

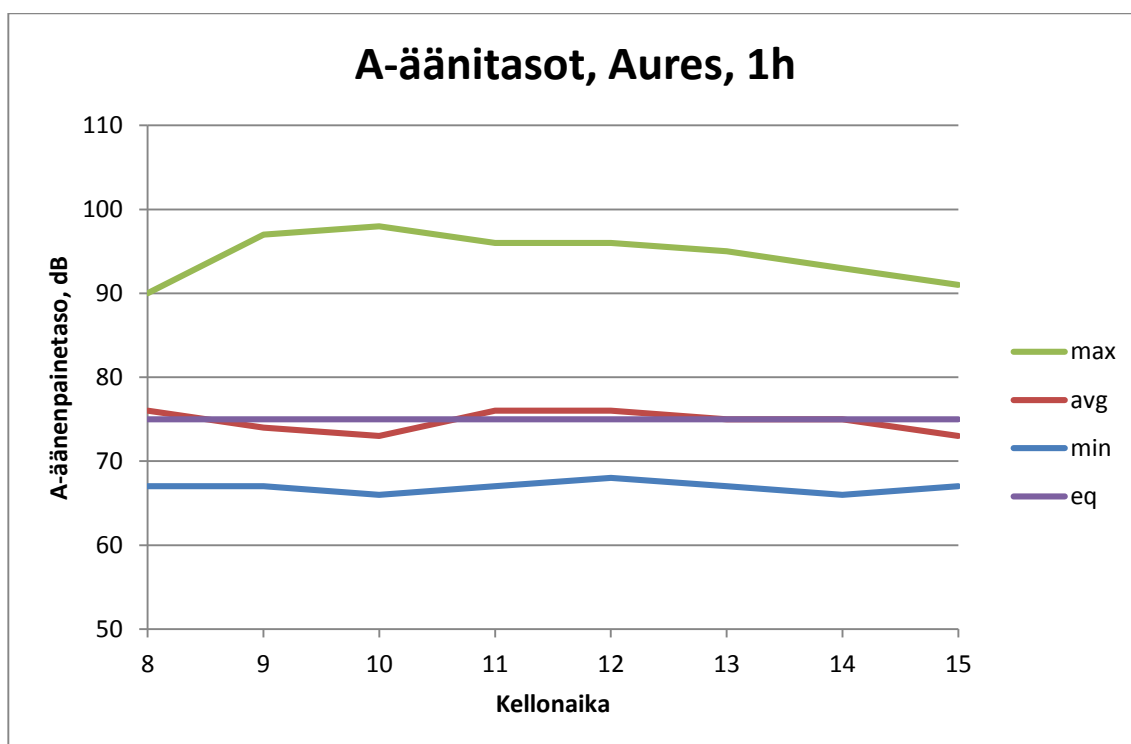
Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	72					
B&K, 4	84	93	85	82	74	< 69
B&K, 5	80	90	87	84	74	< 69

## 5.3 Kiertokankiverstas

### 5.3.1 Jäysteenpoistopiste

Kiertokankiverstaan jäysteenpoistopisteellä suoritettiin mittaukset käyttäen sekä Aures dataloggeria että Brüel & Kjaerin henkilökohtaisia meluannosmittaria. Työpäivän aikana tehtiin jäysteenpoistoa, kuulapuhallusta ja pulttien irrotusta. Päivä oli tavanomainen.

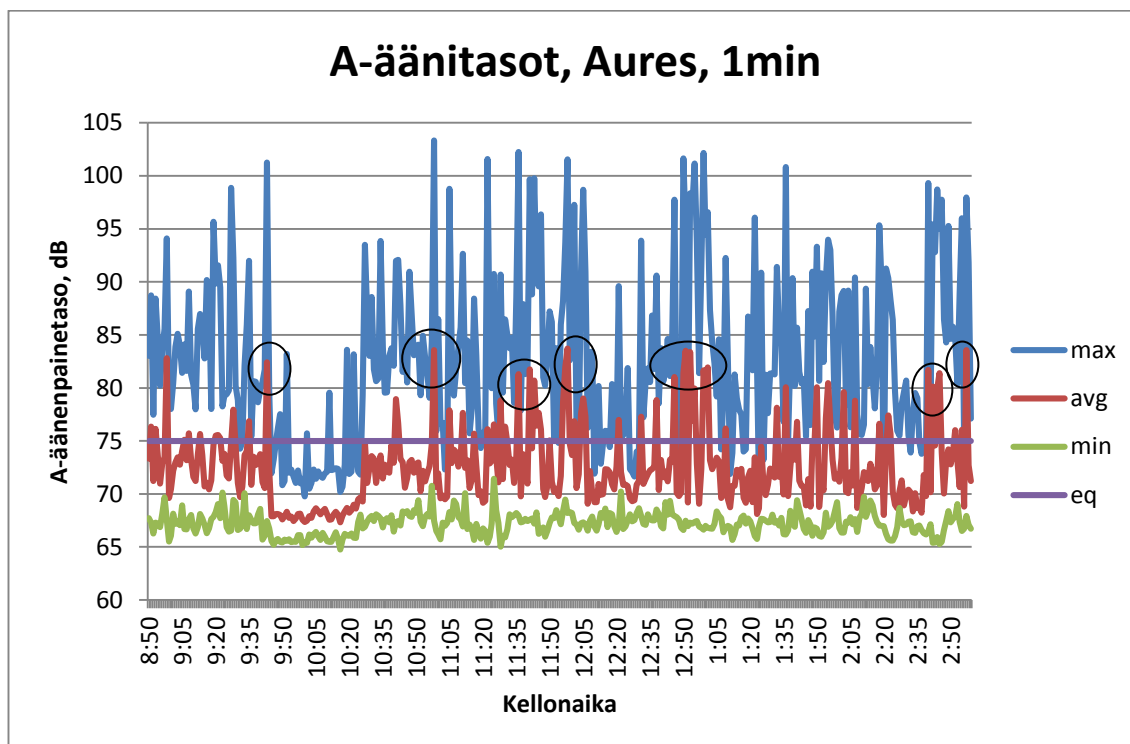
Kiertokankiverstaalla melutasot pysyvät hyvin tasaisina läpi päivän (kuva 24). Ekvivalenttäänitaso  $L_{Aeq}$  on 75 dB:ä ja myös keskitaso pysyy reilusti alle lainsäädännön ohjearvojen. Se on huomattavasti lähempänä minimiarvoja kuin maksimiarvoja. Tämä kertoo siitä, että melutaso työpäivän aikana on suuremman osan ajasta tasainen ja matalahko. Koska maksimiäänitaso on tasainen, tapahtuu läpi päivän jokin samanlainen tapahtuma, kuten jokin työvaihe.



Kuva 24: kiertokankiverstaan jäysteenpoistopisteen A-äänipainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Tarkastelemalla lyhyempää jaksotusta, keskiäänitaso ylittää hetkellisesti 80 dB:n rajan ja korkeimmat mitatut arvot ovat 100 dB:n yläpuolella (kuva 25). Kuvaajasta näkyy selkeästi myös ruokatauon aikainen hiljaisempi ajanjakso, jolloin on mitattu muutamia hieman korkeampia arvoja, jotka todennäköisesti johtuvat mittauspisteen ympärillä satuneista kolahduksista ja muista työntekeijöistä ja työtehtävistä. Tässäkin kuvaajassa näkyy kuinka keskitaso on lähempänä minimiä kuin maksimia, eli työpisteessä melu on

pääosin tasaista tarkastelujakson aikana, mutta muutamat voimakkaat äänet nostavat sitä.

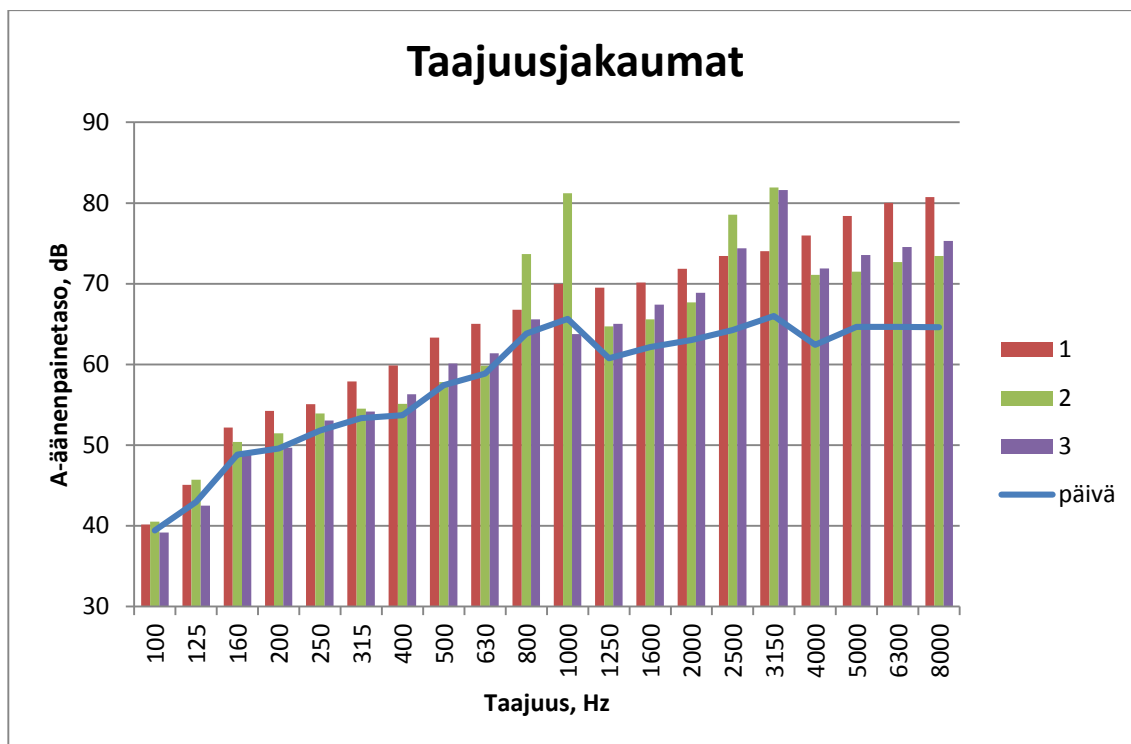


**Kuva 25:** kiertokankiverstaan jäysteenpoistopisteen A-äänipainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

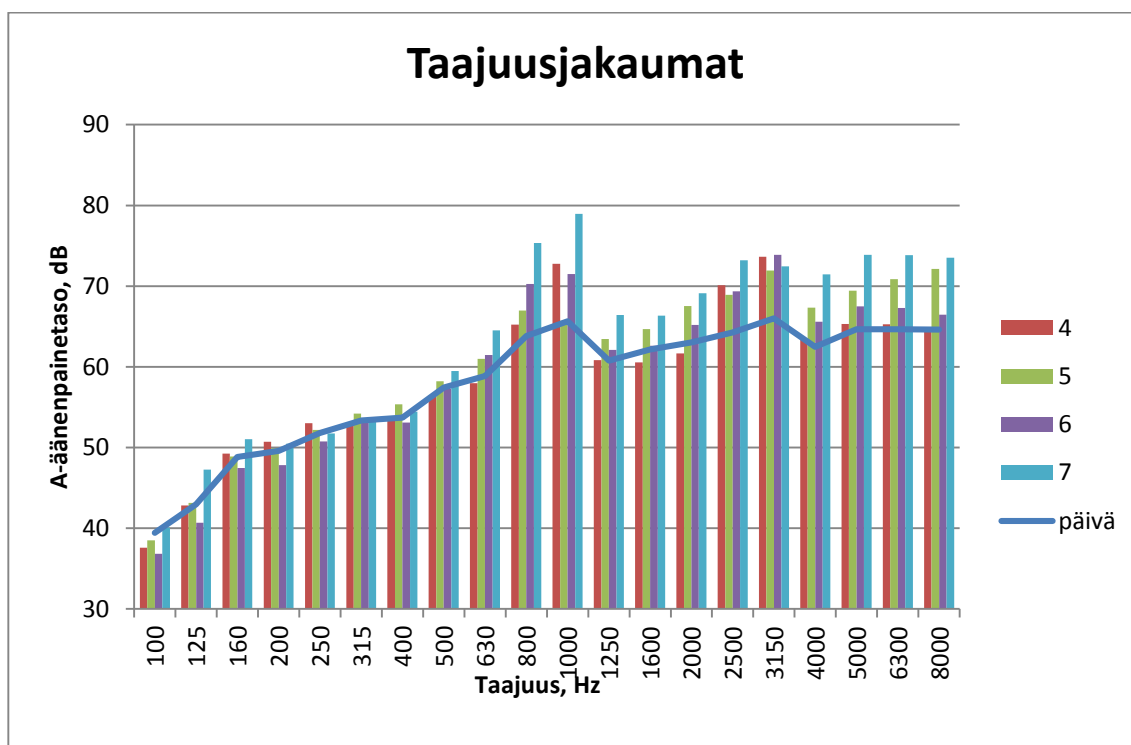
Päivän aikana tapahtuu muutamia keskimääräistä melutasoa nostavia tapahtumia. Kuvassa 26 ympyröidyt tarkasteltavat ajankohdat ovat

- 1) 09.43.00–09.43.30
- 2) 10.58.00–10.58.30
- 3) 11.36.00–11.36.30
- 4) 12.04.00–12.06.00
- 5) 12.46.00–13.01.30
- 6) 14.40.00–14.47.00
- 7) 14.57.00–14.58.00

Kaikki tarkasteltavat melupiikit ovat samankaltaisia, sillä spektrien muodot mukailevat toisiaan (kuvat 27 ja 28). Tämän perusteella on todennäköistä, että ääni on peräisin samasta lähteestä. Voimakkaimmin painottuvat taajuudet 800–1000 Hz ja 2500–3150 Hz, minkä voi huomata myös koko päivää edustavasta käyrästä. Muutamat piikit painottavat korkeita taajuuksia, erityisesti piikit 1, 5 ja 7. Spektrin muodon perusteella piikit 1, 2 ja 3 voivat olla samankaltaisia ääniä, mutta piikki 1 on vain voimakkaampi.



Kuva 26: kiertokankiverstaan jäysteenpoistopisteen mittaustulosten 1–3 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

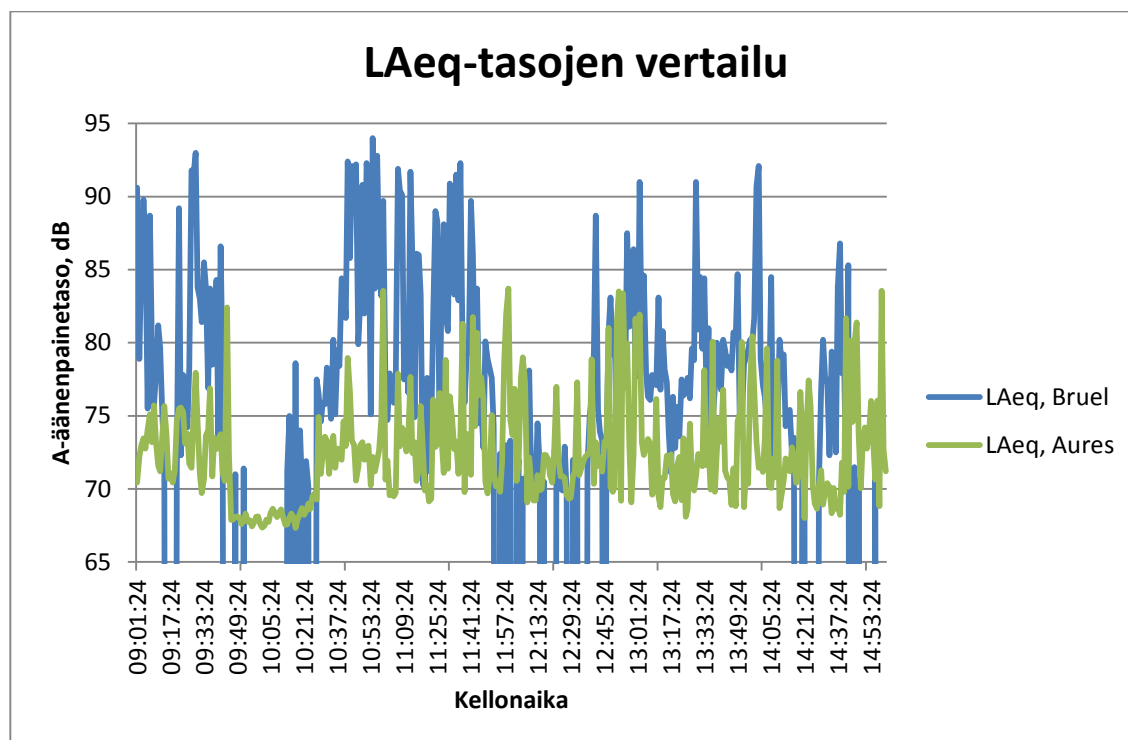


Kuva 27: kiertokankiverstaan jäysteenpoistopisteen mittaustulosten 4–7 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Henkilökohtaiseen mittariin on rekisteröitynyt huomattavasti hiljaisempia hetkiä kahvi- ja ruokataukojen ajoilta, jolloin myös kiinteän mittarin mittaama melutaso laskee (kuva 26). Työpisteellä ei tällöin ole ollut muita työn ääniä kuin koneiden huminasta



aiheutuva taustamelu. Esimerkiksi noin kello 09.45–10.25 (ruokatauko) melutaso putoaa selvästi alle 70 dB:n ja noin kello 11.50–12.45 henkilökohtaisen mittarin lukemat laskevat, mutta kiinteän mittarin eivät yhtä radikaalisti. Työpisteellä ja ympäristössä siis on tällöin ollut melua, mutta työntekijä itse on ollut muualla. Muutoin käyrät näyttävät seuraavan toisiaan melko hyvin, joskin eri tasoilla ja henkilökohtainen mittari näyttää säännönmukaisesti korkeampaa lukemaa.



Kuva 28: eri mittalaitteiden A-äänenpainetason mittaustulosten vertailu kiertokankiverstaan jäysteenpoistopisteellä

Taulukkoon 6 on kirjattu saadut mittaustulokset. Aureksen antama arvo on huomattavan paljon, 13 desibeliä matalampi kuin B&K:n antama arvo. Päivän meluannos täyttyy altistumalla tällaiselle melulle vain neljän tunnin ajan.

Taulukko 6: mittaustulokset

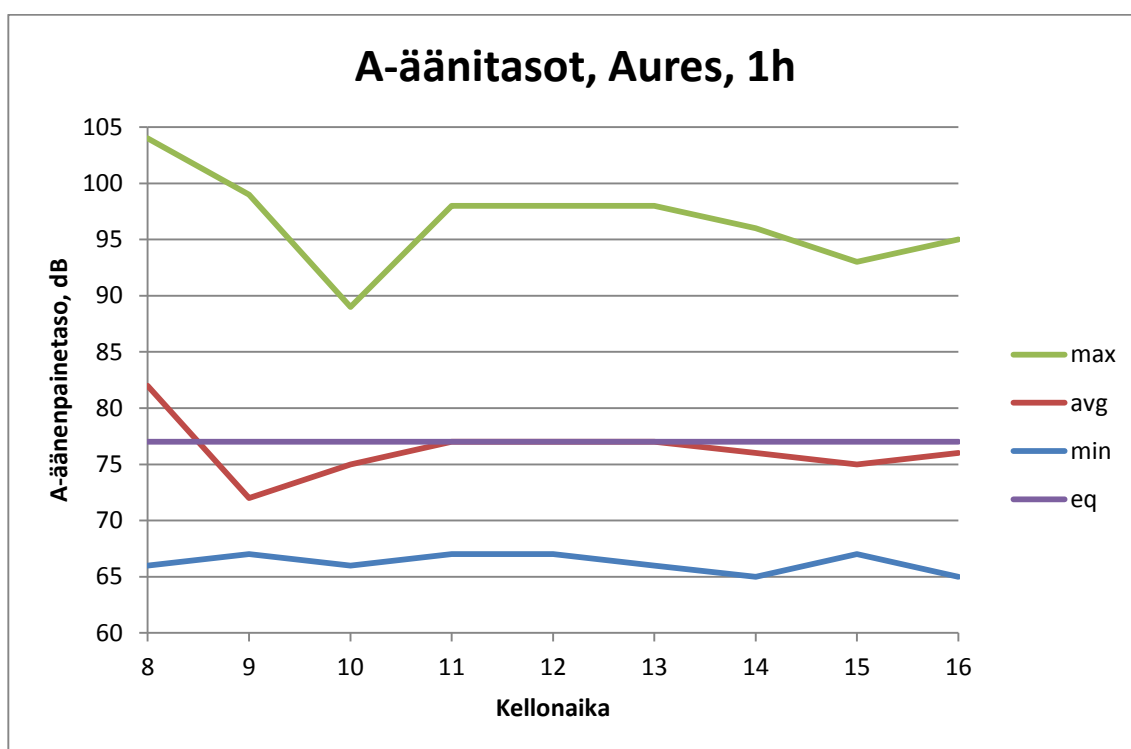
Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	75					
B&K, 5	88	100	95	90	80	< 69

Melutasojen eroja osaltaan selittää työpisteen layout. Jäysteenpoistopiste sijaitsee sylinterikansiosaston perällä ja on oma tilansa, jonka seiniin on kiinnitetty absorbtiomateriaalia. Tämä estää melun leviämistä ympäristöön, kuten Aureksen lukemasta voidaan havaita. Kuitenkin jäysteenpoistoa tekevä työntekijä altistuu kovalle melulle, sillä absorbtiomateriaali ei vaikuta melualtistukseen suuruuteen itse työpisteessä.

### 5.3.2 Latausasemat 1 ja 3

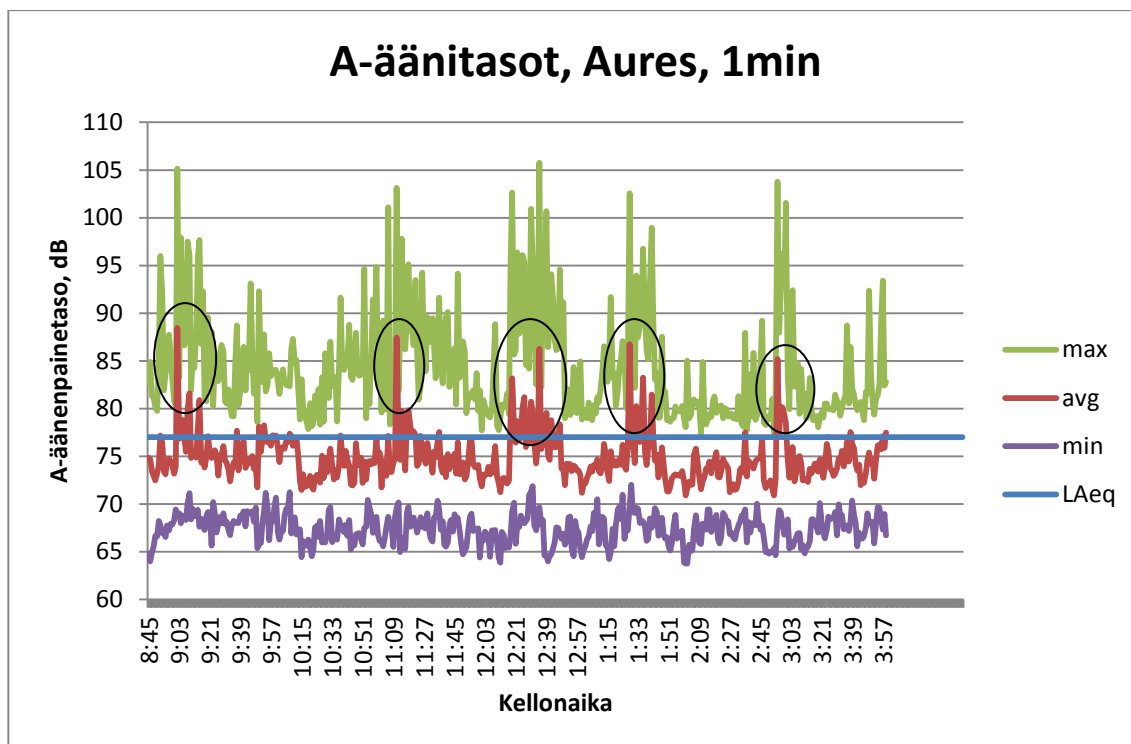
Latauspisteellä 1 (mittari B&K4) tehtiin päivän aikana 32:F alaosan latausta, reikien polttopuhallusta ja jäystä. Kappaleiden vaihdoissa käytettiin pulttipysyä. Latauspisteellä 3 (mittari B&K5) tehtiin F-varsien ja hienoajojen latausta sekä purkua pulttipysyä käyttäen, jäysteenpoistoa ja reikien räpäsköintiä. Ruokatauko pidettiin noin kello 9.50–10.20. Työpäivä vastasi tavanomaista.

Työpiirteen taustamelun on noin 65 dB:n tuntumassa, mutta huipputasot ovat erittäin korkeita, pääosin 90–100 dB:n välillä, korkein arvo on jopa yli 100 dB:ä (kuva 29). Keskimääräinen melutaso ei kuitenkaan näin pitkällä integrointiajalla ylitä edes 80 dB:n rajaa, kuin aivan mittausjakson alussa. Päivän ekvivalenttimelutaso  $L_{Aeq}$  on 77 dB:ä. Melutasojen käyttäytymisen perusteella työpiirteen melu on suurimman osan ajasta melko tasaista, sillä minimi- ja keskimääräismelutasot ovat lähempänä toisiaan, kuin maksimi- ja keskimääräistasot. Keskimääräistasoa nostaa työpiisteellä tehtävistä työstä aiheutuva voimakas, mutta hetkellinen melu.



Kuva 29: kiertokankitehtaan latausaseman A-äänipainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Lyhyemmällä tarkasteluajalla kuvaajasta 30 erottuu selkeästi 5 hetkeä, jolloin melutasot kohoavat vaikuttaen sekä maksimi- että keskimääräistasoihin.

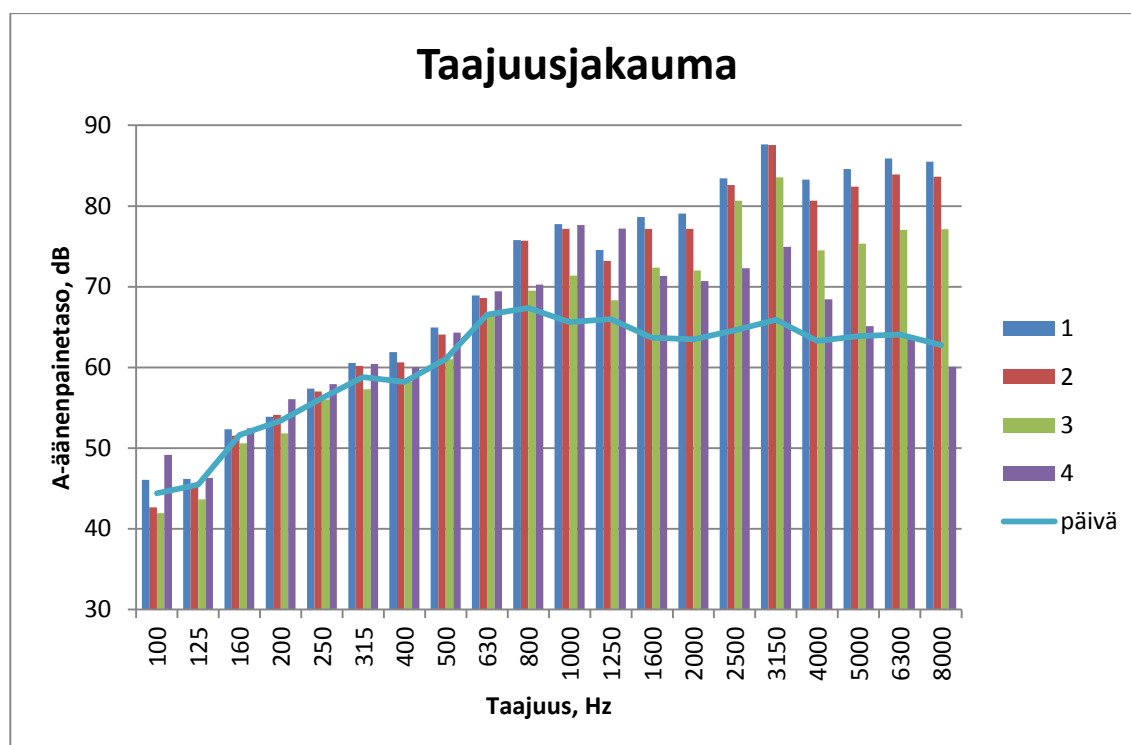


Kuva 30: kiertokankitehtaan latausaseman A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

Tarkasteltavat ajankohdat ovat

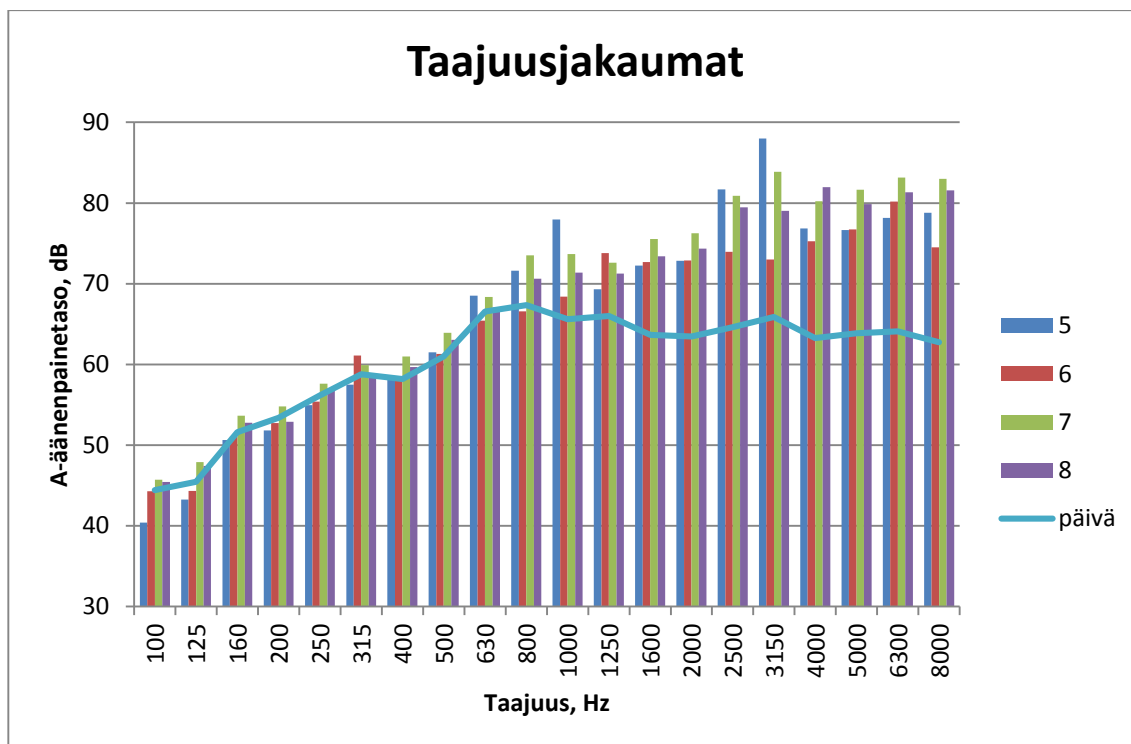
- 1) 09.02.20–09.02.40
- 2) 11.11.20–11.11.40
- 3) 12.19.25–12.19.42
- 4) 12.30.33–12.31.05
- 5) 12.35.40–12.35.57
- 6) 12.39.10–12.39.25
- 7) 13.28.24–13.28.52
- 8) 14.55.30–14.56.00

1. ja 2. spektri näyttävät hyvin samankaltaisilta ja yhtä voimakkailta, vaikka melutapah-  
tumien välillä on aikaa (kuva 31). On perusteltua olettaa melun olevan peräisin samasta  
lähteestä tai työvaiheesta. Kaksi muuta spektriä ovat muodoltaan ja tasoiltaan aivan eri-  
laisia sekä keskenään, että kahden ensimmäisen spektrin kanssa, joten todennäköisesti  
kyseessä on eri lähteistä syntyvät äänet. Kolmannessa spektrissä korostuvat voimak-  
kaimmin taajuudet 2500–3150 Hz, kun taas muissa spektreissä tällaista korostumista ei  
ole. Verrattuna spektriin 4 kuulostavat muut äänet korkeammilta ja sen takia myös häi-  
ritsevämmiltä, vaikka eivät itsessään kovin voimakkaita olekaan.



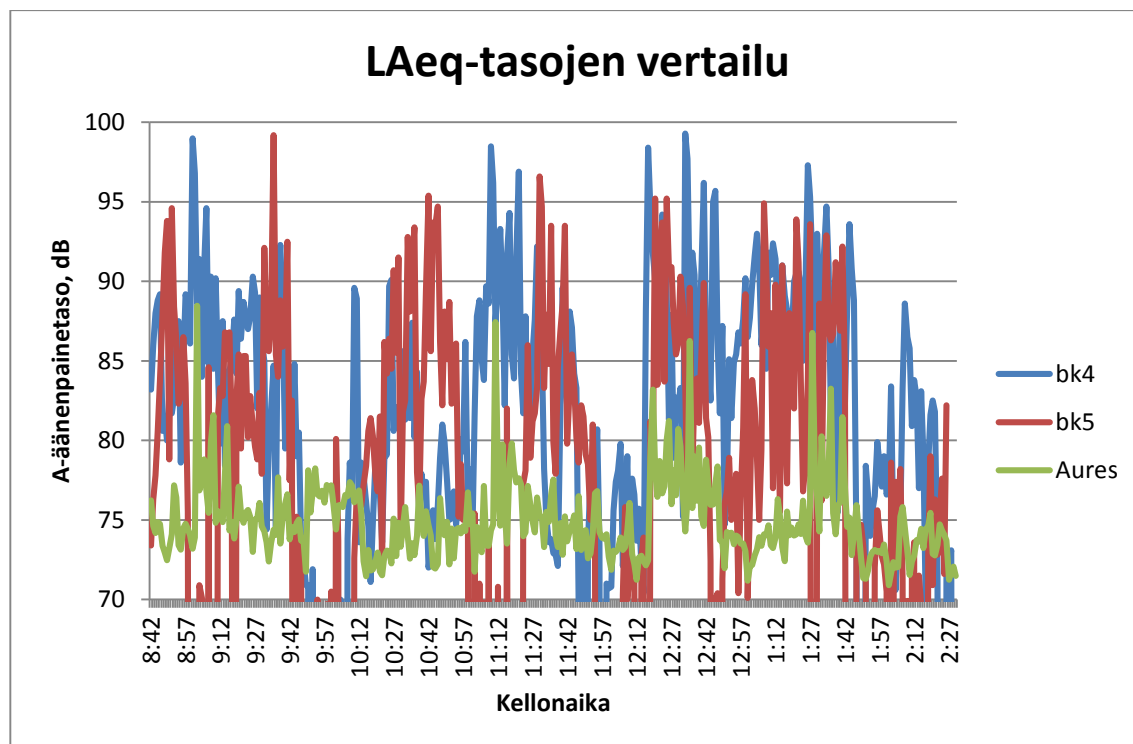
Kuva 31: kiertokankiverstaan latausaseman mittaustulosten 1–4 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Spektrit 5–8 ovat melko samantyyppisiä ja kaikissa korkeat taajuudet painottuvat matalia enemmän (kuva 32). Spektrit 5 ja 7 poikkeavat hieman muista taajuuksilla 1000 Hz ja 2500–3150 Hz ja ovat melko samanlaisia aiemmassa kuvan 31 spektrien 1 ja 2 kanssa. Taajuusjakaumien perusteella äännet ovat todennäköisesti melko samankuuloisia ja mahdollisesti aiheutuvat samoista työkaluista ja päivän aikana toistuvista työvaiheista, sillä ne sijoittuvat pitkin päivää.



**Kuva 32: kiertokankiverstaan latausaseman mittaustulosten 5–8 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin**

Aures dataloggerin ja kahdella henkilökohtaisella mittarilla saadut tulokset poikkeavat toisistaan melko paljon, henkilökohtaisten mittareiden antamat arvot ovat huomattavasti korkeammat (kuva 33). Henkilökohtaiset mittarit olivat kahdella työntekijällä, joten heidän liikkeensä työpisteen ja toistensa suhteen aiheuttavat sen, että mittaustulokset eivät ole yhtenevät ja tasoissa on suuria eroja. Ruoka- ja kahvitauot näkyvät selkeästi kaikkien mittareiden mittaustuloksissa tasojen laskuna.



Kuva 33: eri mittalaitteiden A-äänepainetaso mittaustulosten vertailu kiertokankiverstaan la-  
tausasemilla

Taulukkoon 7 on koottu mittauspisteeltä saadut tulokset. Pysyvyystasojenkin perusteella on nähtävissä työn luonne: suuren osan ajasta melu on ohjearvojen sisällä, mutta hetkel-  
liset voimakkaat äänet, joita on vain noin 10 %:a ajasta, nostavat ekvivalenttitason lain-  
säädännön ylempään toimenpidearvon yläpuolelle. Työpisteellä vallitseva melutaso kui-  
tenkin on suhteellisen matala ja alemman toiminta-arvon alapuolella.

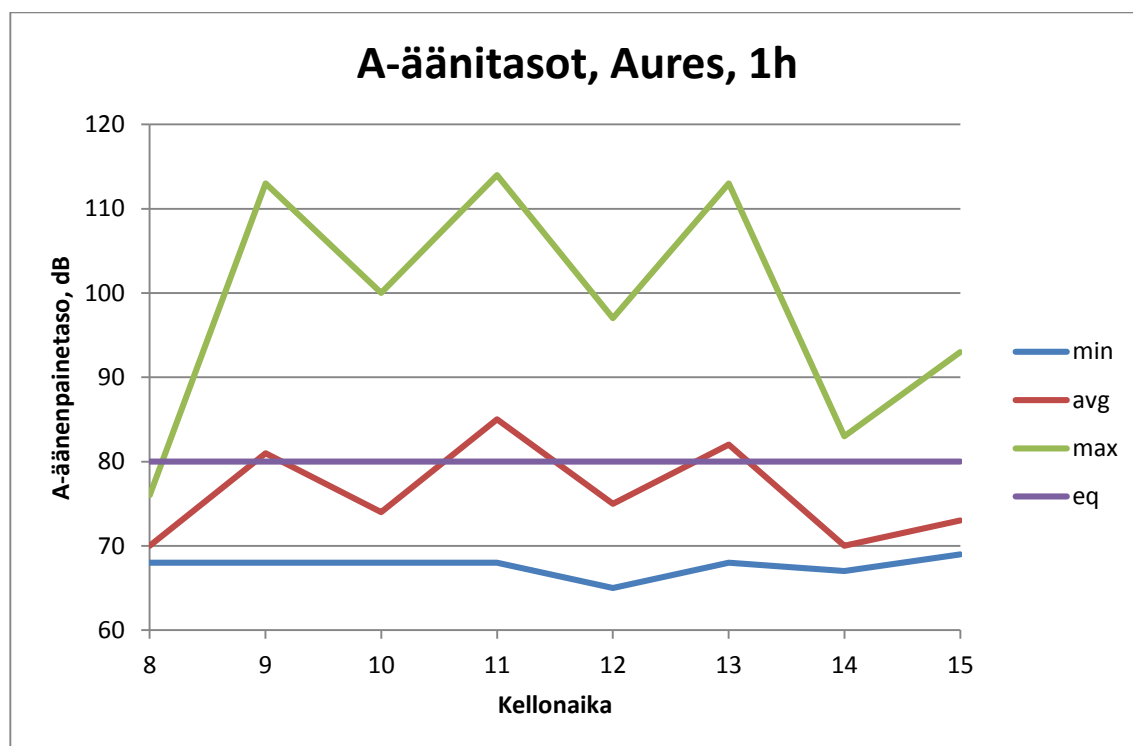
Taulukko 7: Mittaustulokset

Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	77					
B&K, 4	88	99	95	92	83	72
B&K, 5	86	96	94	91	79	< 69

## 5.4 Lohkovalmistus, jäystö

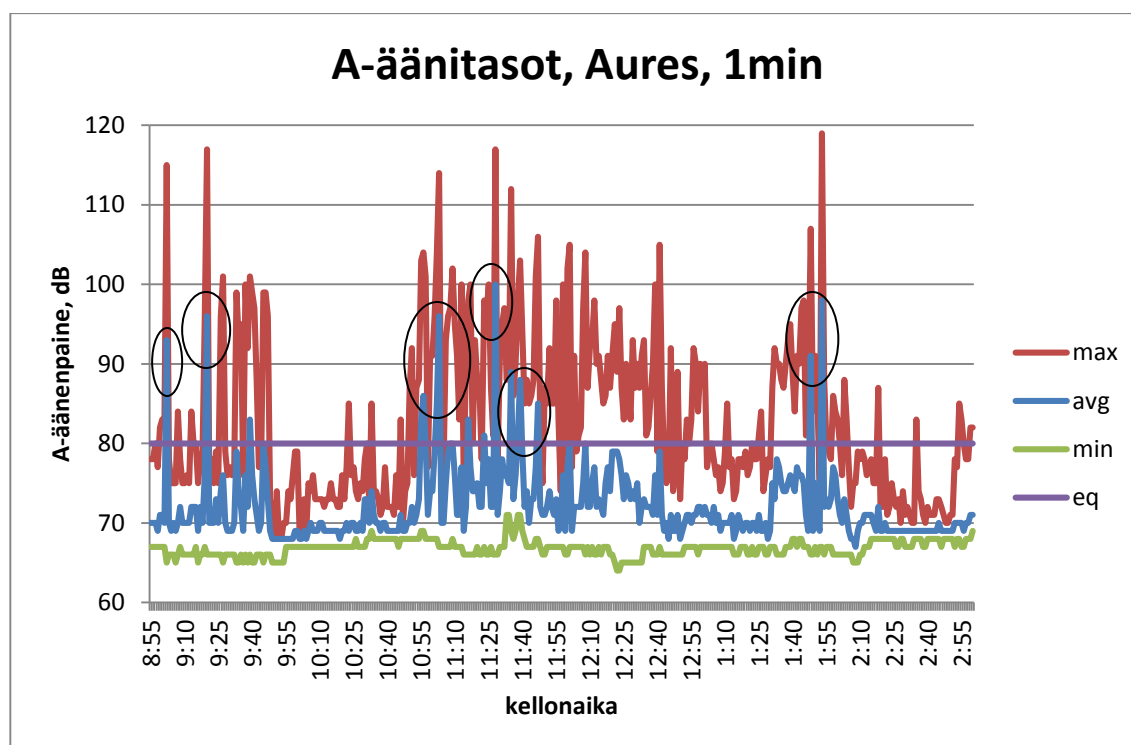
Lohkovalmistuksen jäystö pisteessä mitattiin Aures dataloggerilla ja kahdella henkilö-  
kohtaisella meluannosmittarilla. Lähempänä Auresta työskentelevän työntekijän muka-  
na oli mittari B&K4 ja hieman kauempana työskentelevällä työntekijällä mittari B&K5.  
Työtehtävinä molemmilla pisteillä oli lohkon kasausta, kiristämistä ja jäystämistä. Ruo-  
katauko pidettiin noin kello 10–10.30. Työpäivä vastasin tavanomaista.

Melutasojen heilahtelut vaikuttavat toisiinsa (kuva 34) – minimimelutaso eli taustamelu pysyy tasaisena, mutta keskimääräinen taso seuraa maksimitason heilahtelua. Koska keskitaso on lähempänä minimitasoa, on suurin osa mittausajasta ollut toiminta-arvojen sisällä ja työskentelystä johtuva melu vaikuttaa keskitasoon ja ekvivalenttitasoon. Ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$  arvon, 80 dB:ä, perusteella melutilanne näyttäisi hyvältä, vaikka maksimitasot ovat jopa yli 100 dB:ä. A-painotettuna äänenpaineena se merkitsee jo kovaa melua.



Kuva 34: lohkovalmistuksen A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Kuvaajasta 35 erottuu selkeästi melupiikkejä, jolloin melutasot kohoavat vaikuttaen sekä maksimi- että keskimääräistasoihin.



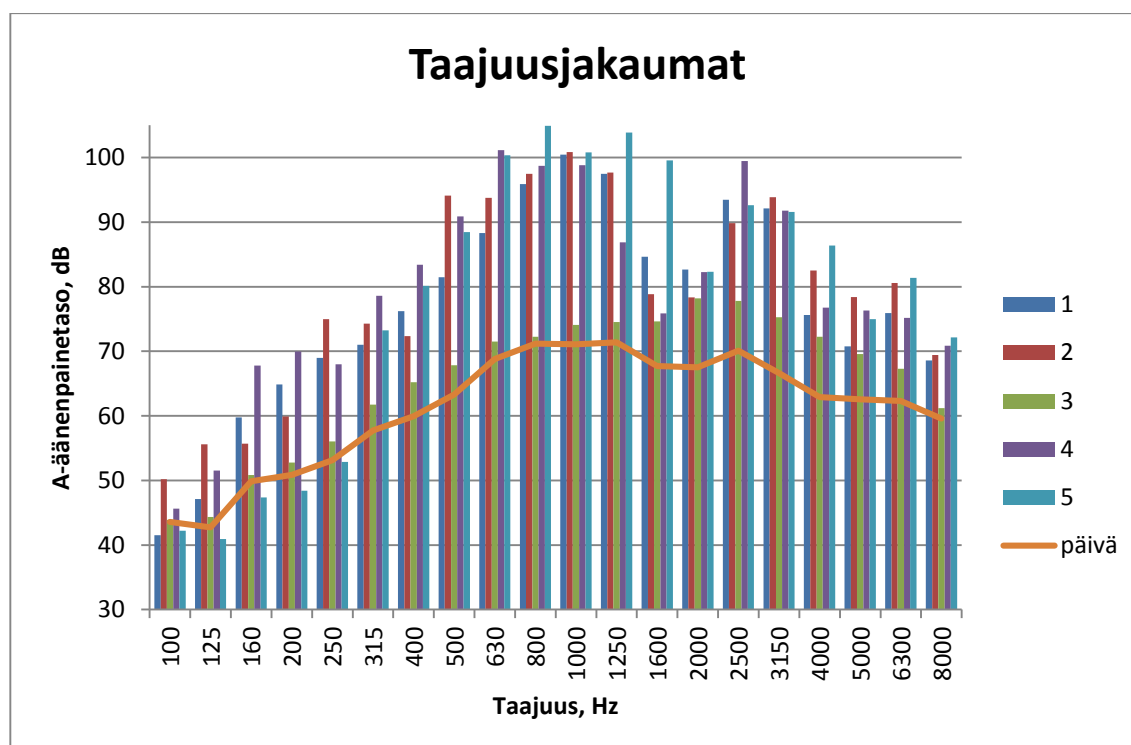
Kuva 35: lohkovalmistuksen A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

Tarkasteltavat ajankohdat ovat

- 1) 09.02.48–09.02.53
- 2) 09.20.28–09.20.35
- 3) 10.55.30–10.57.45
- 4) 11.03.58–11.04.04
- 5) 11.29.05–11.29.11
- 6) 11.35.45–11.35.52
- 7) 11.39.43–11.39.55
- 8) 11.48.20–11.48.25
- 9) 13.48.40–13.48.46
- 10) 13.54.09–13.54.13

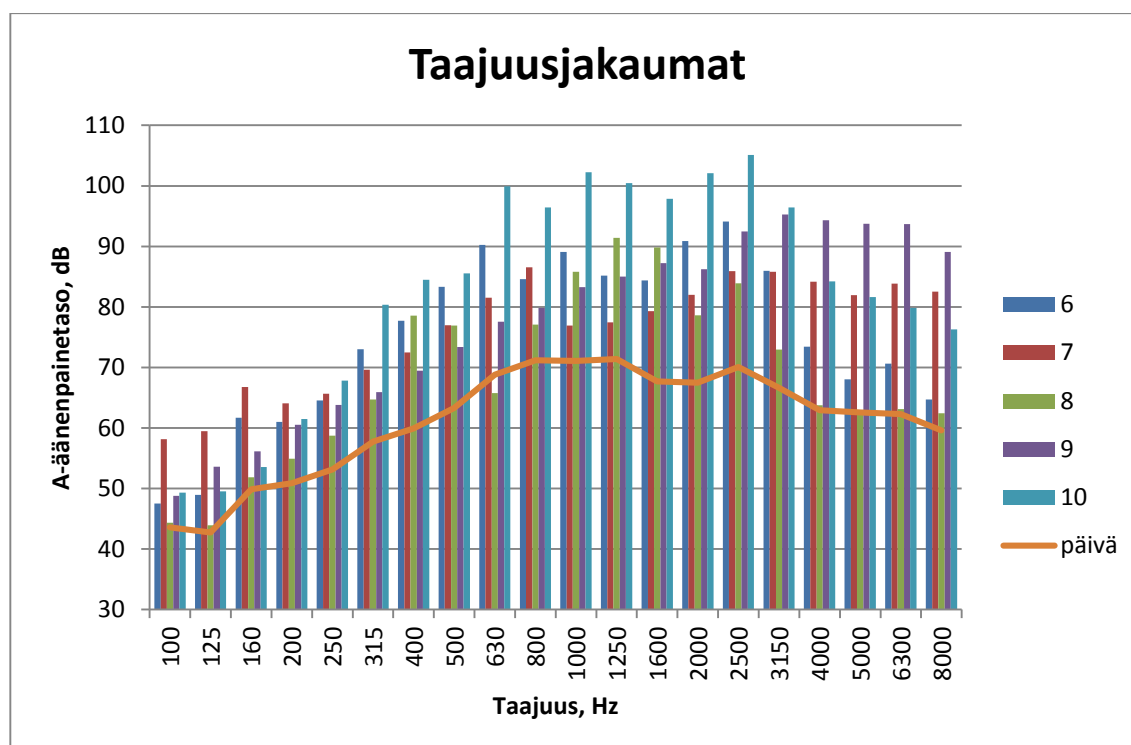
Spektrit 1, 2 ja 4 ovat muodoltaan melko samankaltaisia ja painottuvat erityisesti taajuuksille 500–1250 Hz:ä sekä 2500–3150 Hz:ä, (kuva 36). Nämä äänet ovat siis taajuusominaisuuksiltaan samantyyppisiä ja pylväsdiagrammien korkeuden perusteella melko voimakkaita. Spektri 3 ei painota mitään tiettyä taajuutta erityisen voimakkaasti, vaan on melko tasaisesti jakautunut 630–4000 Hz:n välillä eikä ääni ole kovin voimakas. Spektri 5 eroaa kaikista muista spektreistä, sillä se on painottunut taajuuksille 630–1600 Hz, erityisesti taajuudet 1250–1600 Hz ovat poikkeavat eikä mikään muu spektri painotu näille samoille taajuuksille. Kyseinen ääni on myös hyvin voimakkain. Koko päivän spektrin muoto mukailee spektrejä 1,2 ja 4 sekä oma vaikutuksensa siihen on keskitaajuuksille sijoittuvalla spektrillä 5.





Kuva 36: lohkovalmistuksen mittaustulosten 1–5 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

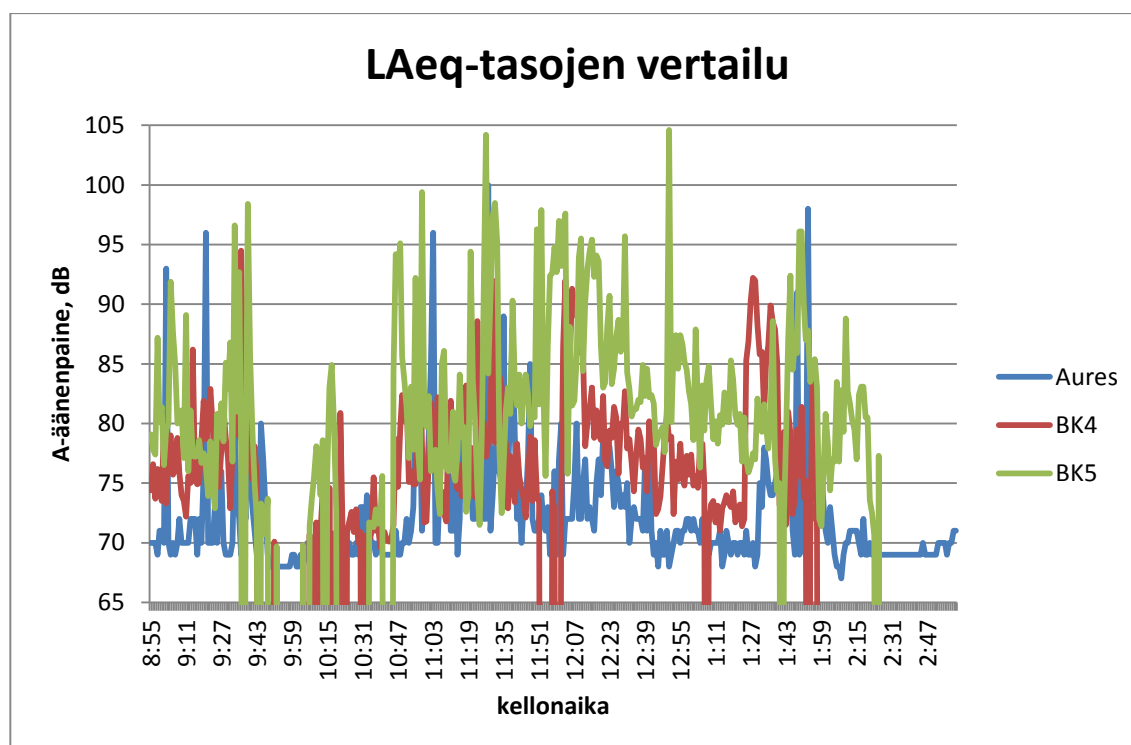
Kuvan 37 diagrammien mukaan spektrit 6 ja 10 ovat muodoltaan samankaltaisia, mutta spektri 10 on huomattavasti voimakkaampi. Nämä spektrit painottuvat erityisesti taajuuksille 500–3150 Hz:ä. Spektrianalyysin perusteella on oletettavissa, että äänet ovat peräisin samasta lähteestä, esimerkiksi jostakin tietystä työkalusta tai -vaiheesta. Spektrit 7, 8 ja 9 ovat edellisten sekä toistensa kanssa melko poikkeavia. Spektrit 7 ja 9 muistuttavat tietyiltä osin toisiaan, sillä ne painottuvat voimakkaasti korkeille taajuuksille, mutta spektrillä 7 voimakkaimmat taajuuskomponentit löytyvät noin 500–1000 Hz:n väliltä, kun taas spektrillä 9 ne ovat 2000 Hz:n yläpuolella. Spektrin 6 käyttäytyminen muistuttaa matalilla ja korkeilla taajuuksilla spektrejä 6 ja 10, mutta keskitaajuuksilla se käyttäytyy päinvastaisesti, joten kyseessä ei luultavasti kuitenkaan ole sama äänilähde.



Kuva 37: lohkovalmistuksen mittaustulosten 6-10 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Kuvien 36 ja 37 spektrien suhteen ei ole havaittavissa yhteneväisyyksiä, joten todennäköisesti työpäivän aikana on tällöin siirrytty työvaiheesta toiseen ja käytetty eri työkaluja tai työstetty eri materiaaleja.

Mittaustulokset käyttäytyvät toistensa suhteen hyvin vaihtelevasti (kuva 38). Ruokataukon aikana melutaso laskee työpisteellä, mutta henkilökohtaisten mittareiden tasot nousevat hetkellisesti johtuen siitä mitä työntekijät ovat ruokataukonsa aikana tehneet. Aamupäivällä ennen ruokataukoa Aures on rekisteröinyt jonkin melupiikin, jota muut mittarit eivät ole. Tämä kertoo siitä, että työpisteessä on tapahtunut jotakin, mutta työntekijät ovat olleet muualla. Samaa kertovat myös tulokset, joissa henkilökohtaisiin mittareihin on rekisteröitynyt voimakkaita meluja ja Aurekseen ei. Henkilökohtaisten mittareiden ja Aures dataloggerin mittaustulosten eroista ja yhtäläisyyksistä voidaan siis tehdä päätelmiä mittausjakson tapahtumista. Tulosten perusteella näyttää, että mittaria B&K4 kantanut työntekijä on suurimman osan ajasta työskennellyt työpisteellä, kun taas toista mittaria B&K5 mukanaan kantanut työntekijä on työskennellyt eri työtehtävissä.



Kuva 38: eri mittalaitteiden A-äänenpainetason mittaustulosten vertailu lohkovalmistuksessa

Taulukkoon 8 on koottu saadut mittaustulokset niin  $L_{Aeq}$ -arvojen kuin pysyvyystasojenkin osalta. Aureksen ja B&K4 mittarin ekvivalenttimelutasen arvo on lähes sama ja lainsäädännön puitteissa hyväksyttävä, mutta B&K5 mittarin lukema liian korkea, 88 dB:ä. Tässä melutasossa saisi oleskella vain 4h eli puolet työpäivästä. Pysyvyystasojen perusteella suurin osa ajasta, 90 % on alle 69 dB:ä eli tätä voidaan pitää taustamelun tasona. Pysyvyystasot  $L_{10} - L_1$  ovat korkeahkoja, joten tämäkin kertoo melun impulsimaisesta luonteesta.

Taulukko 8: Mittaustulokset

Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	80					
B&K, 4	81	93	87	84	75	< 69
B&K, 5	88	99	96	92	80	< 69

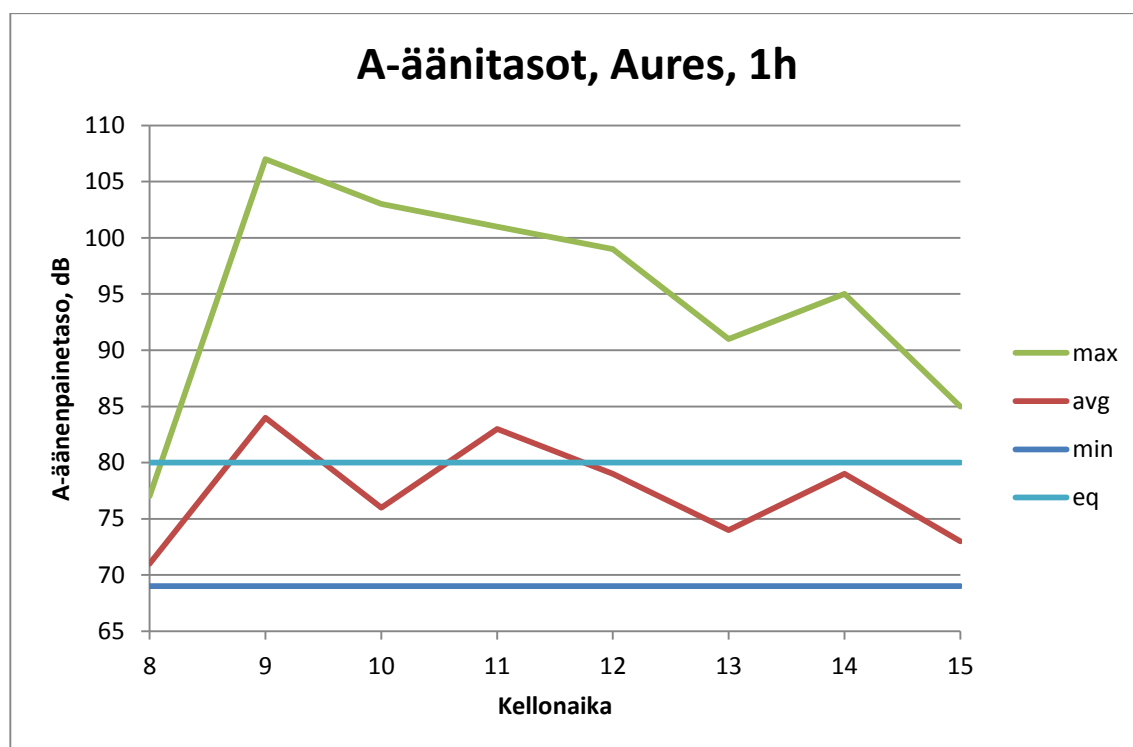
## 5.5 Sylinterikansitehdas

### 5.5.1 Jäystö

Sylinterikansitehtaan jäysteenpoistopisteessä mitattiin käyttäen kaikkia kolmea mittaria. B&K5 mittaria mukanaan kantanut työntekijä työskenteli jäysteenpoistotilassa kello 13 asti ja siirtyi tämän jälkeen lataus- ja koneistuspuolen työtehtäviin. Toista mittaria,

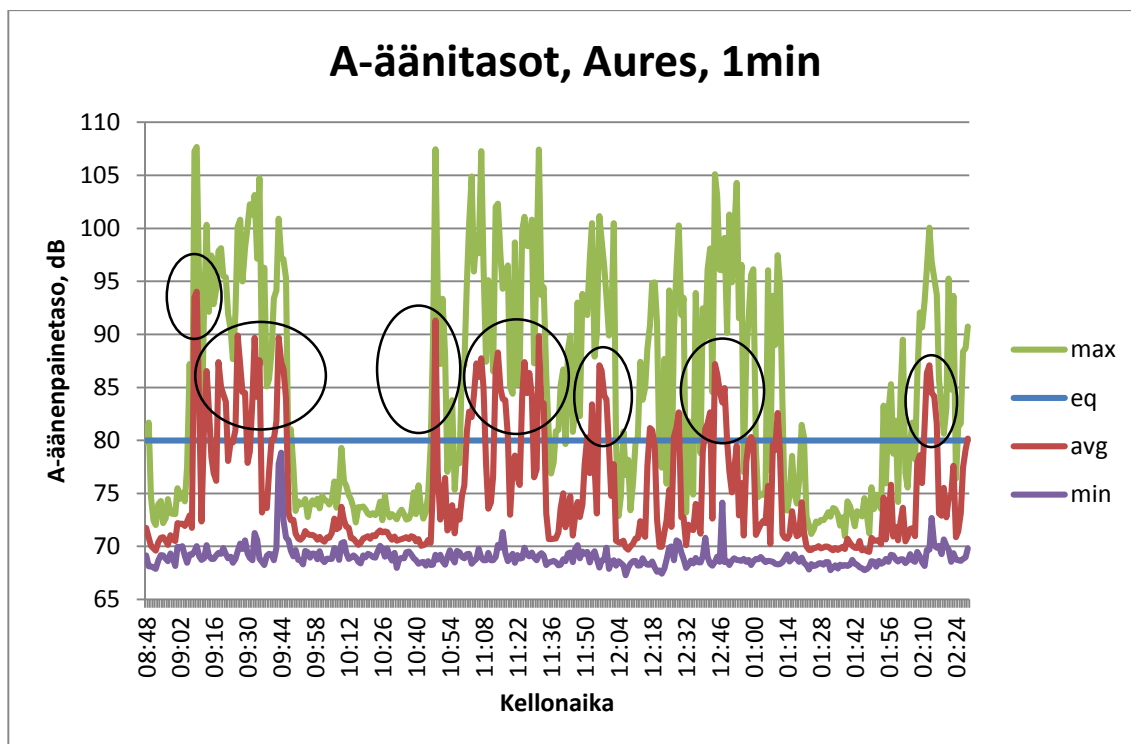
B&K4, kantaneen työntekijän tehtäviin kuuluin koneviilalla, poralla ja räpäskällä työskentelyä. Päivä vastasi tavallista työpäivää. Ruokatunti pidettiin kello 10–10.30.

Taustamelu on päivän ajan hyvin tasaista ja melko vaimeaa. Melutasojen hetkelliset nousut kuitenkin nostavat ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$  80 dB:n suuruiseksi, vaikka keskimääräistaso on suurimman osan ajasta alle 80 dB:ä (kuva 42). Keskimääräistaso mukailee maksimitason kuvaajan muotoa ja hetkelliset maksimitasojen nousut näkyvät myös sen kohoamisena.



Kuva 39: sylinterikansitehtaan jäystöpisteen A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Kuvaan 43 on ympyröity mielenkiintoisimmat melutasojen heilahtelut päivän aikana. Luonteeltaan tapahtumat jakautuvat kahden tyyppisiin, hyvin hetkellisiin iskumaisiin ja hieman pidempään kestäviin sarjamaisiin. Kyseessä voi olla esimerkiksi vasaraniskun tyyppinen ääni ja pidempi ääni puolestaan jokin työvaihe, esimerkiksi pulttipyssyn käyttö.

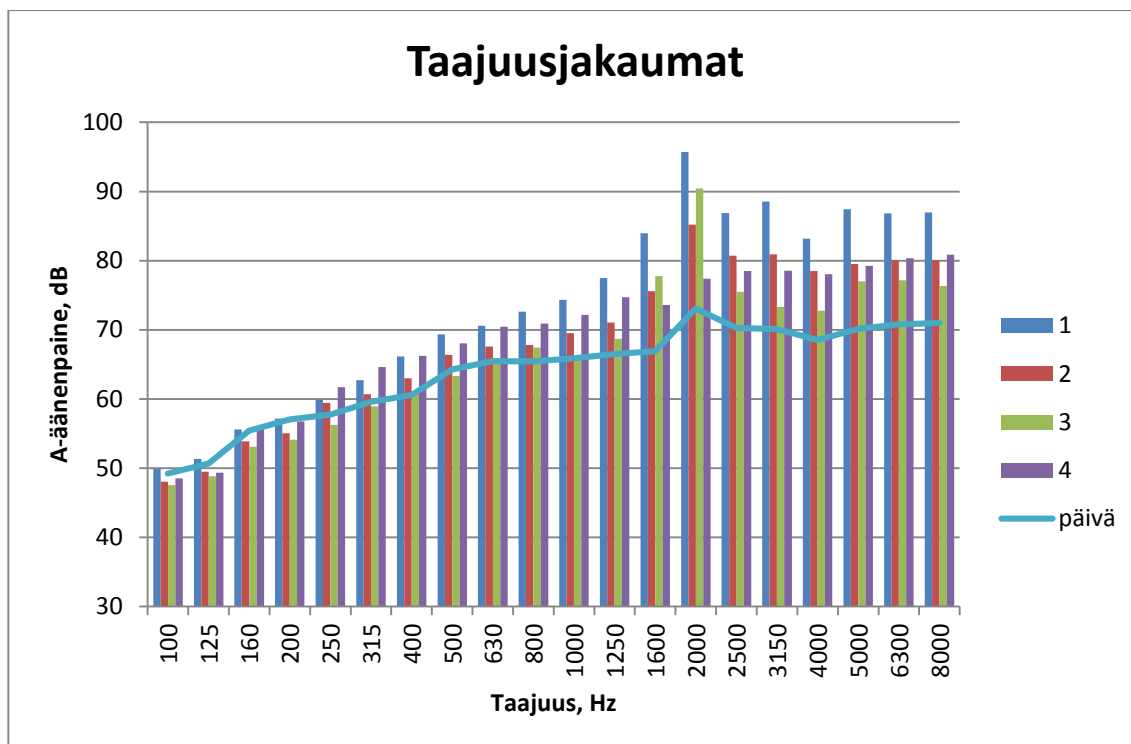


Kuva 40: sylinterikansitehtaan jäystöpisteen A-äänepainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

Tarkasteltavat ajankohdat

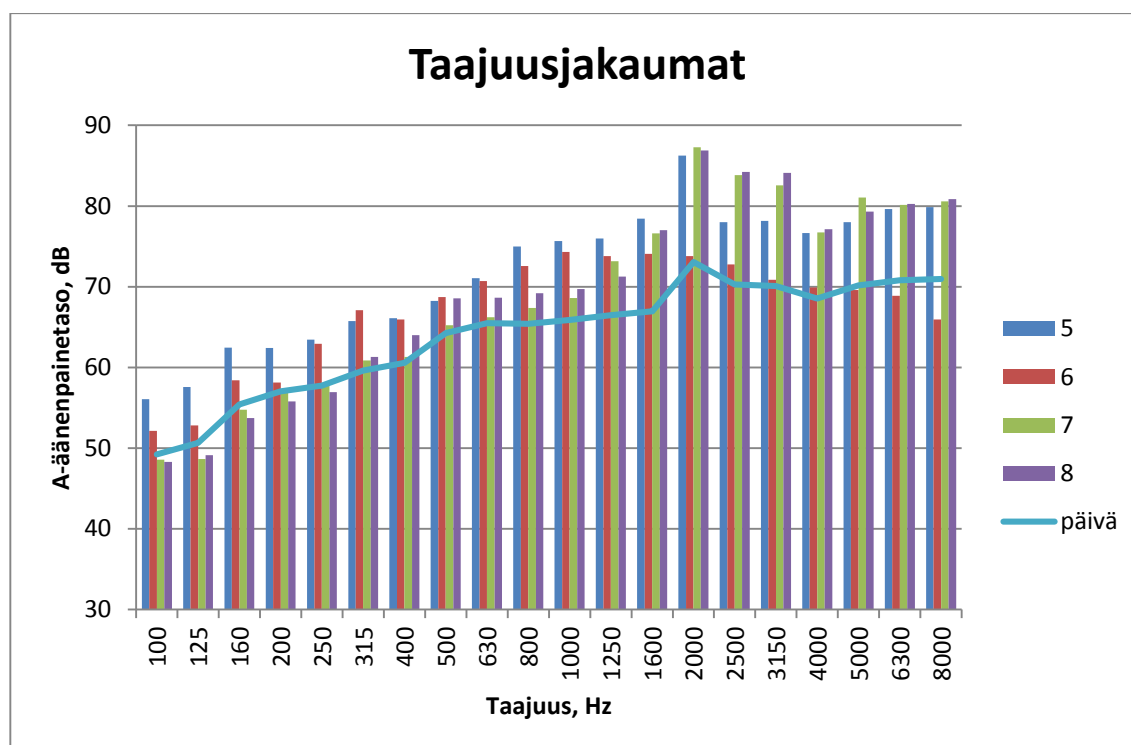
- 1) 09.08.30–09.09.11
- 2) 09.32.50–09.34.10
- 3) 09.35.05–09.35.30
- 4) 09.42.55–09.46.55
- 5) 10.47.50–10.49.20
- 6) 11.01.15–11.03.30
- 7) 11.13.40–11.14.15
- 8) 11.31.00–11.31.35
- 9) 12.01.35–12.02.40
- 10) 12.44.40–12.45.30
- 11) 12.52.40–12.53.10
- 12) 14.11.40–14.16.35

Spektrit 1, 2 ja 3 painottuvat erityisesti 2000 Hz:n kohdalle, mikä näkyy myös koko päivää edustavassa spektrikuvaajassa (kuva 44). 2500 Hz:n yläpuolella spektrit käyttäytyvät kuitenkin hieman erilailla, spektrit 1 ja 2 painottuvat hieman enemmän myös korkeille taajuuksille kuin spektri 3. Spektri 4 puolestaan painottuu tasaisesti korkeammille taajuuksille, mutta mikään tietty kaista ei nouse voimakkaasti esiin.



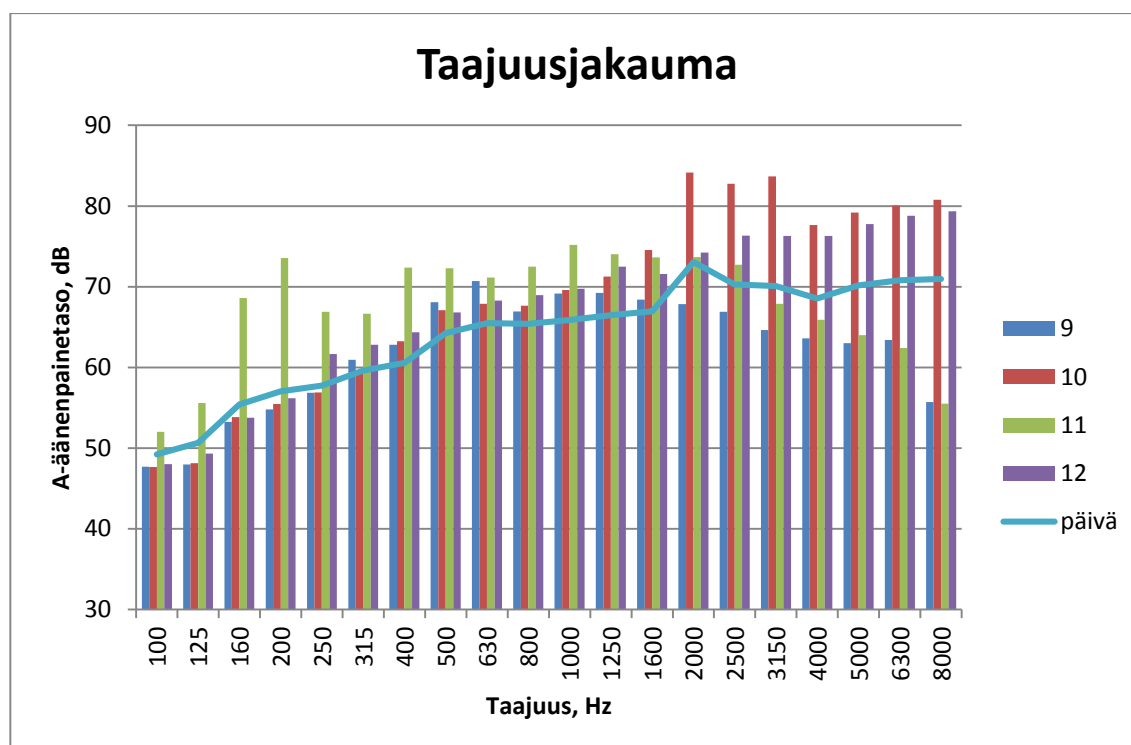
Kuva 41: sylinterikansitehtaan jäystön mittaustulosten 1–4 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Spektrit 7 ja 8 käyttäytyvät hyvin samankaltaisesti ja painottuvat taajuudet ovat välillä 2000–3150 Hz (kuva 45). Oletettavasti kyseessä on samasta lähteestä peräisin oleva ääni. Myös spektri 5 painottuu voimakkaimmin 2000 Hz:n taajuudelle, mutta 2500–3150 Hz:n taajuuskomponentit eivät ole niin vahvoja kuin edellisillä. 4000 Hz:n yläpuolella spektrit kuitenkin käyttäytyvät jälleen melko yhtenevästi, mutta koska matalilla taajuuksilla spektri 5 on vahvempi, ei kyseessä luultavasti ole sama äänilähde. Spektri 6 on täysin poikkeava kaikista edellä esitetyistä eikä mikään yksittäinen taajuus nouse toista vahvemmin esiin, vaan voimakkuus on suhteellisen tasaisesti jakautunut taajuuskaistojen suhteen.



Kuva 42: sylinterikansitehtaan jäystön mittaustulosten 5–8 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

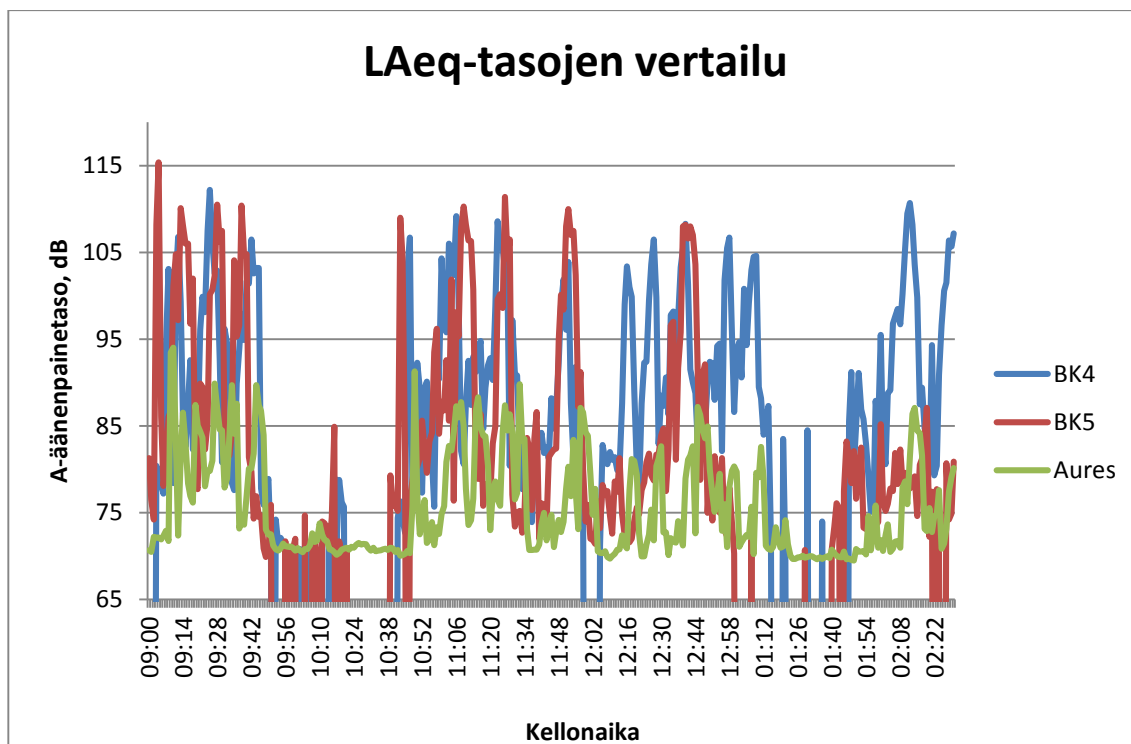
Spektri 10 painottuu voimakkaimmin taajuuksille 2000–3150 Hz:ä, mutta hieman myös korkeammille taajuuksille (kuva 46). Spektri 9 käyttäytyy hyvin samoin kuin spektri 6, eli ei painota mitään tiettyä taajuutta huomattavan voimakkaasti suhteessa muihin, hieman vahvempana esiintyvät taajuuskaistat 500–630 Hz:ä. Spektri 12 puolestaan käyttäytyy spektrin 4 tavoin, eli painottuu eniten korkeille taajuuksille, mutta mikään yksittäinen kaista ei nouse esiin. Kaikista aiemmista poikkeuksellinen on spektri 11, jolla on voimakkaita taajuuskomponentteja jo pienitaajuisen äänen alueilla 160–200 Hz:n kaistalla. Myös kaistat 400–2500 Hz:n välillä painottuvat, mutta korkeat taajuudet eivät. Kyseessä voi olla jokin ympäristöstä lähtöisin oleva ääni, jota ei normaalissa työssä esiinny tai jokin poikkeava työtehtävä.



Kuva 43: sylinterikansitehtaan jäystön mittaustulosten 9–12 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Tulokset yhtenevät jossain määrin, esimerkiksi ruoka- ja kahvitaukojen osalta, tosin henkilökohtaiset mittarit ovat tällöinkin rekisteröineet tuloksia, vaikka työpisteellä on ollut hiljaista (kuva 47). Etenkin aamupäivän mittaustulokset käyttäytyvät melko yhtenevästi, mutta henkilökohtaisten mittareiden tulokset ovat huomattavasti korkeammat. Tähän vaikuttaa mittareiden sijoittelu työpisteen suhteen ja etäisyydet. Keskipäivän ja iltapäivän osalta mittaustuloksissa on paljon poikkeavuuksia ja kuten aiemminkin on todettu, johtuvat nämä työntekijöiden vaihtelevista tehtävistä ja muusta liikkumisesta työpisteensä ulkopuolella.





Kuva 44: eri mittalaitteiden A-äänenpainetaso mittaustulosten vertailu sylinterikansitehtaan jäys-  
tö pisteellä

Taulukkoon 9 on koottu saadut mittaustulokset. Aureksen antama ekvivalenttimelutason arvo, 80 dB:ä, on vielä lainsäädännön arvojen puitteissa, mutta henkilökohtaisten mitta-  
reiden tulokset aivan liian korkeat, 99 dB:ä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että melu olisi  
jatkuvasti näin voimakasta, vaan pysyvyytasojen perusteella arvioituna melu on suu-  
rimman osan ajasta, 90 %, alle 69 dB:ä ja jopa puolet ajasta melutaso pysyy alle 85  
dB:n. Kuitenkin 10 % mittausajasta melutaso ylittää 100 dB:ä ja kohoaa hetkellisesti  
jopa 110–111 dB:n tasolle, mikä puolestaan nostaa myös ekvivalenttimelutason arvoa.  
Tulokset kertovat siitä, että mittausjaksolla on esiintynyt useita hyvin voimakkaita ää-  
niä.

Taulukko 9: Mittaustulokset

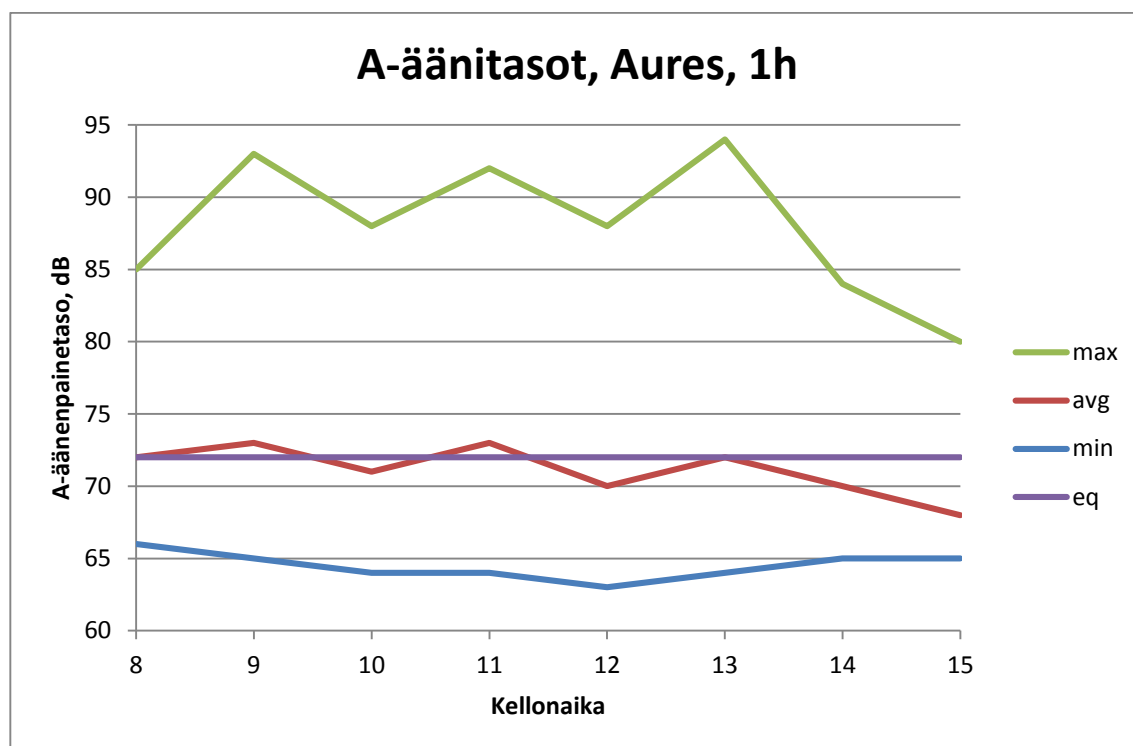
Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	80					
B&K, 4	99	110	107	104	85	< 69
B&K, 5	99	111	108	104	78	< 69

### 5.5.2 Koneistus

Sylinterikansitehtaan lataus- ja koneistuspuolella tehtiin mittauksia Aures dataloggerilla ja yhdellä henkilökohtaisella meluannosmittarilla. Työtehtävinä oli tavallisia konemie-  
hen tehtävät: työkalujen vaihtoa, teräpalojen/porien ja muiden työkalujen puhdistusta  
paineilmalla ja työkalupesurilla, tarkkuustyökalujen säätöä oikeaan mittaan asetuslait-

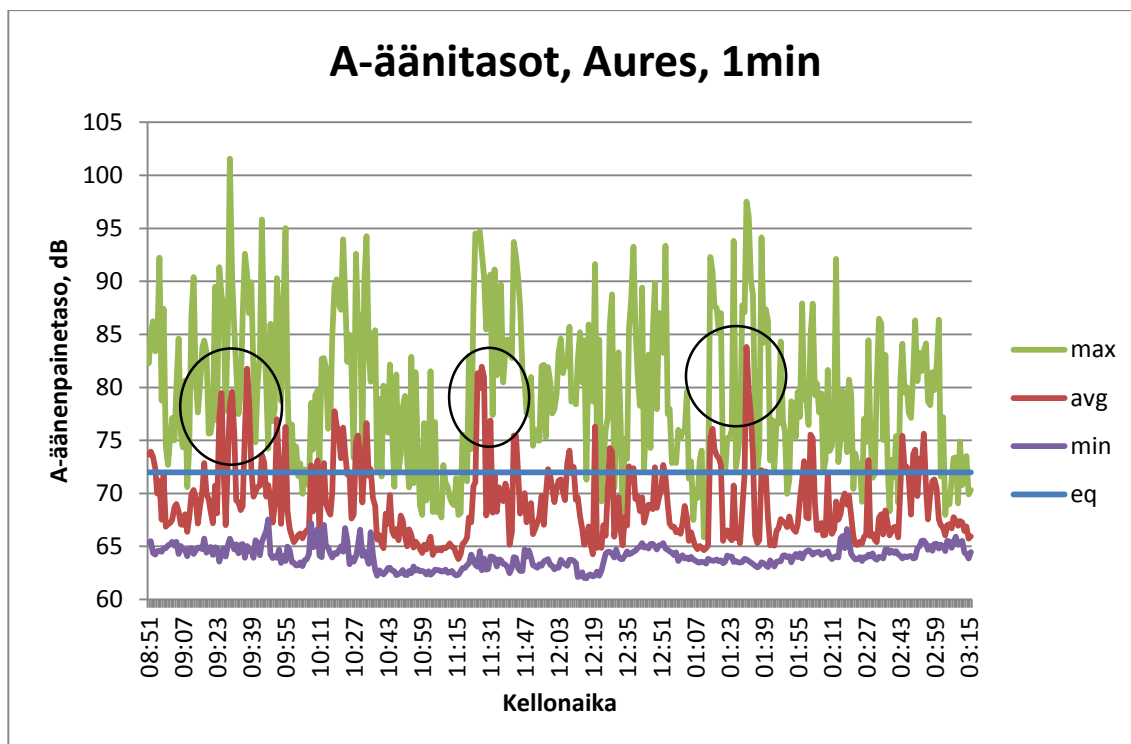
teen avulla, palettien vapauttamista latausasemalla työstökoneelle ja mittaustulosten tarkistamista. Työssä käytetään paineilman lisäksi pulttipistoolia ja nostovälineitä. Ruokatauko pidettiin kello 10–10.30. Päivä oli tavanomaista rauhallisempi, sillä kolmesta työstökeskuksesta vain yksi oli kyseisenä päivänä käytössä.

Ekvivalenttimelutaso  $L_{Aeq}$  on hyvin matala, vain 72 dB:ä. Melutaso kohoaa hetkellisesti hyvin korkeaksi, mikä nostaa ekvivalenttitasoa jonkin verran verrattuna vaimeaan 65 dB:n taustameluun. Koska minimi- ja keski- sekä ekvivalenttitasot ovat lähempänä toisiaan verrattaessa maksimitasoihin, on työpisteellä suuren osan ajasta suhteellisen hiljaista (kuva 48).



Kuva 45: sylinterikansitehtaan koneistuspisteen A-äänienpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot tunnin aikafunktiolla.

Päivän aikana on 4 ajanjaksoa, jolloin keskimääräinen melutaso kohoaa yli 80 dB:n. Tällöin on tapahtunut jokin ympäristön melusta poikkeva ja voimakkaampi melutapahuma. Nämä on ympyröity kuvaan 49.

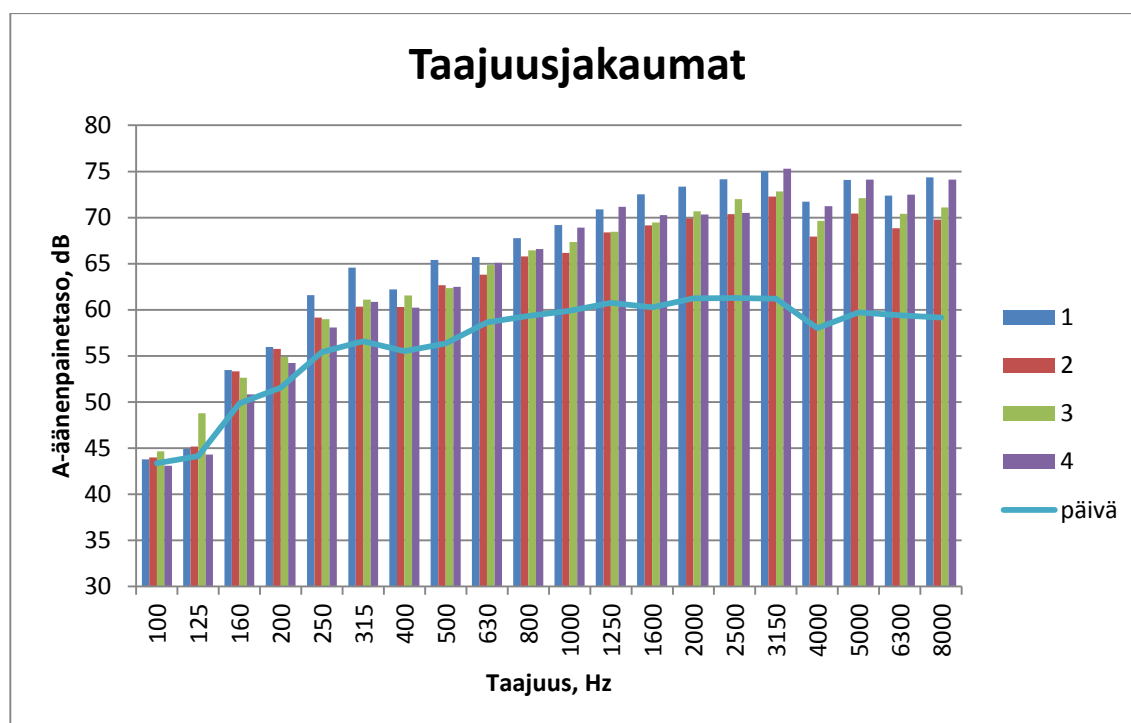


Kuva 46: sylinterikansitehtaan koneistuspisteen A-äänenpainetasojen minimi-, maksimi-, -keski ja ekvivalenttitasot minuutin aikafunktiolla.

Tarkasteltavat ajankohdat

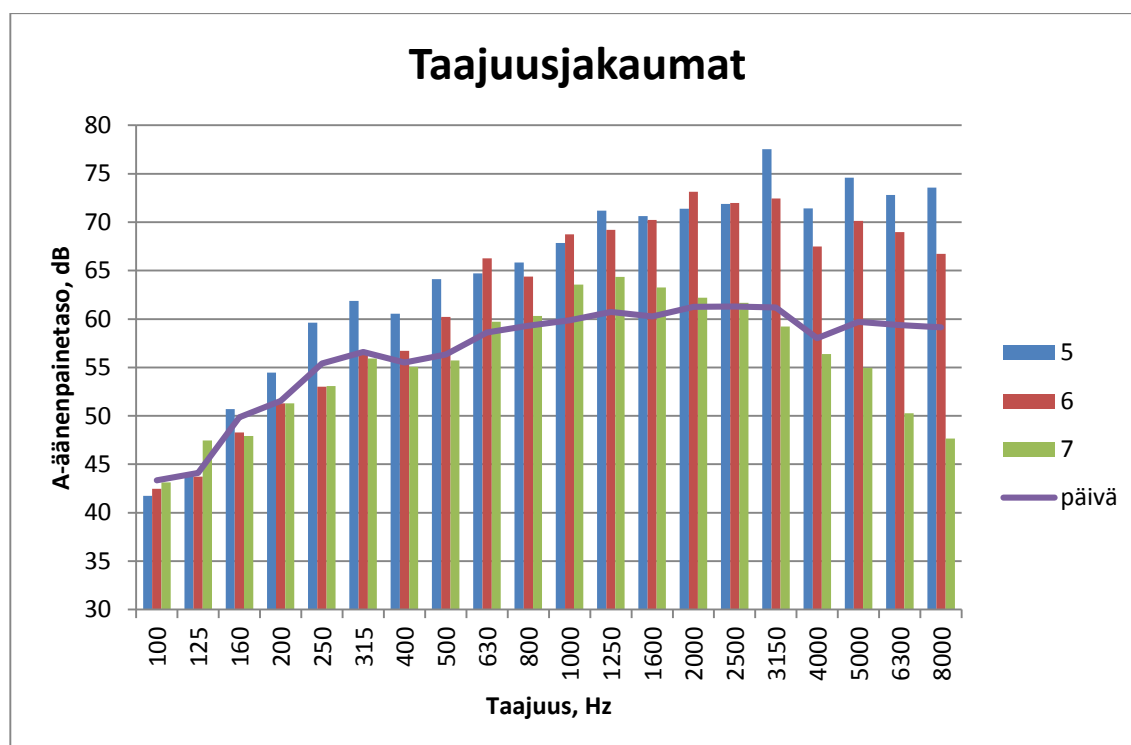
- 1) 09.24.50–09.25.30
- 2) 09.30.10–09.31.30
- 3) 09.36.50–09.39.10
- 4) 11.25.25–11.26.50
- 5) 11.27.30–11.29.00
- 6) 13.30.30–13.34.20
- 7) 13.39.10–13.41.15

Spektrit 1-4 käyttäytyvät kaikki melko samalla tavalla painottuen korkeille taajuuksille (kuva 50). Hieman muita kaistoja voimakkaammin painottuu 3150 Hz:n kaista. Erityisesti spektrit 2 ja 3 ovat lähes identtiset niin muotonsa kuin voimakkuutensa suhteen, eli todennäköisesti näitä spektrejä vastaavat äänet ovat peräisin samasta lähteestä.



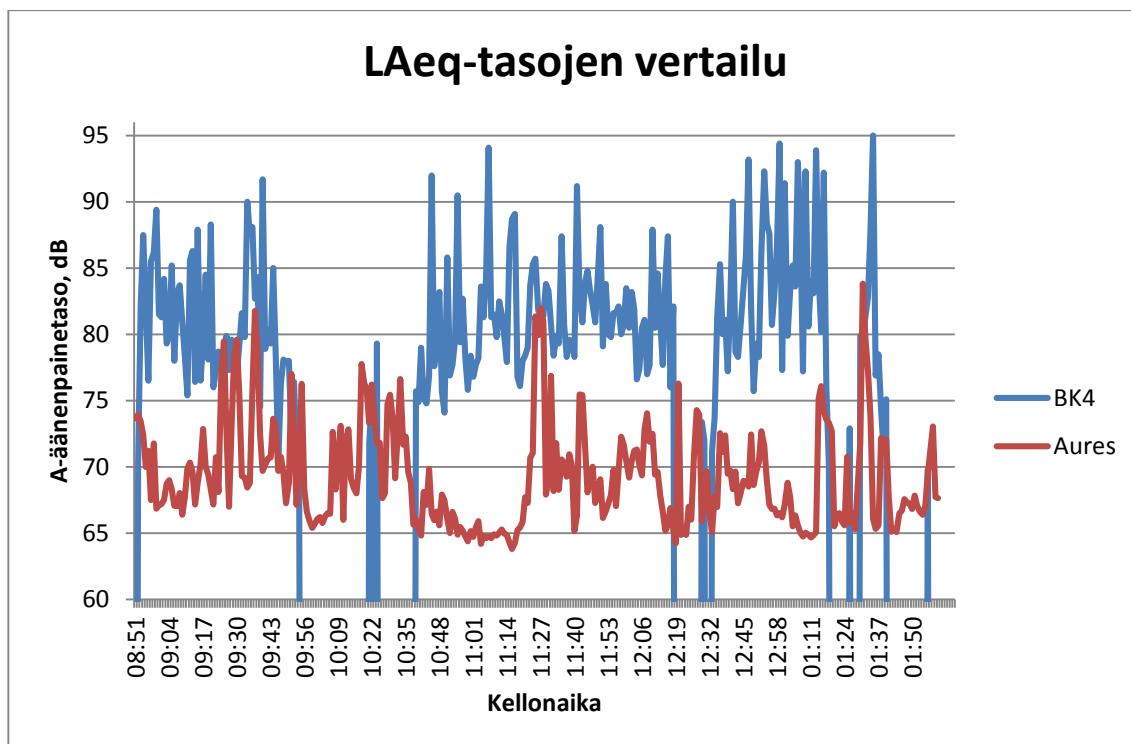
**Kuva 47:** sylinterikansitehtaan koneistuksen mittaustulosten 1–4 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin

Spektri 5 on edellisten kaltainen painottuen korkeille taajuuksille ja hieman muita voimakkaammin 3150 Hz:n kaistalle (kuva 51). Myös spektri 6 on muodoltaan melko samanlainen, mutta painottuu edellisiä tasaisemmin kaikkien korkeiden taajuuksien suhteen. Spektri 7 on kaikista edellisistä täysin poikkeavan muotoinen, sillä se painottuu keskitaajuuksille, muttei edellisten tavoin lainkaan korkeille taajuuksille. Tulosten perusteella on oletettavaa, että spektrejä 1–6 vastaavat äänet ovat lähtöisin samasta lähteestä ja spektriä 7 vastaava ääni jostakin toisesta.



**Kuva 48: sylinterikansitehtaan koneistuksen mittaustulosten 5–7 tarkastelu taajuuskaistoittain suhteessa koko päivän spektriin**

Eri mittalaitteilla mitattujen melutasojen käyttäytymisessä on eroja, tasot eivät vastaa toisiaan kuin satunnaisesti (kuva 52). Esimerkiksi ruokatauon aikaan henkilökohtaisen melumittarin tasot laskevat, mutta dataloggerin ei. Työpisteellä tai sen vieressä on siis työskennelty työntekijän ollessa muualla. Mittaustulosten eroavaisuuden perusteella työnkuva on ollut päivän aikana vaihteleva, eikä työtä ole suoritettu kiinteästi vain yhdellä työpisteellä.



Kuva 49: eri mittalaitteiden A-äänenpainetason mittaustulosten vertailu sylinterikansitehtaan koneistuspisteellä

Taulukossa 10 on koottu molempien mittareiden antamat mittaustulokset. Molemmat ekvivalenttitason arvot ovat lainsäädännön toiminta-arvojen rajoissa, mutta eroavat toisistaan melkoisesti, 12 dB:ä. Suurimman osan ajasta, 90 %, melu pysyttelee alle 69 dB:n, kuten monissa muissakin mittauspisteissä, mutta ekvivalenttitason arvoa nostavat hetkelliset korkeammat arvot, joita edustavat pysyvyystasot  $L_1$ ,  $L_5$  ja  $L_{10}$ .

Taulukko 10: Mittaustulokset

Mittari	$L_{Aeq}(dB)$	$L_1(dB)$	$L_5(dB)$	$L_{10}(dB)$	$L_{50}(dB)$	$L_{90}(dB)$
Aures	72					
B&K, 4	84	94	91	88	79	< 69

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Tutkimuksen löydökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää palvelevatko nykyiset mittausmenetelmät meluntorjunnan tarpeita riittävän hyvin vai voidaanko uusilla mittalaitteilla saada parempi käsitys siitä, millaiset meluolosuhteet kohdeyrityksen tietyissä mittauspisteissä todellisuudessa on, miten eri tekijät vaikuttavat tuloksiin ja miten tietoa tulisi hyödyntää. Työssä testattiin erästä kaupallista mittalaitetta, APL Systems Aures dataloggeria ja pyrittiin selvittämään miten se soveltuisi käytettäväksi perinteisten melumittareiden rinnalla tai jopa sijasta. Millaista lisäarvoa sen tuottamat mittauks tulokset antaisivat perinteisiin melumittareihin nähden, ja mikä olisi jatkossa soveltuva tapa hyödyntää näitä kahta eri mittausmenetelmää?

Vastaus tutkimusongelmaan on, että nykyiset mittausmenetelmät ovat riittämättömiä ja tulosten perusteella tehtävät toimenpiteet ovat todennäköisesti tehottomia, eivätkä kohdistu oikeaan kohteeseen. Uudet mittalaitteet, tässä Aures datalogger, mahdollistaa monipuolisempien mittausten tekemisen ja näin saadaan arvokasta tietoa, millaiset meluolosuhteet todella ovat tietyssä mittauspisteessä.

Kuten oletettiin, mittaustulosten trendi on se, että työntekijöiden mukana kulkeneiden mittareiden antamat tulokset ovat lähes järjestelmällisesti korkeampia, kuin työpisteelle kiinteästi sijoitetun Aures dataloggerin tulokset (taulukko 11). Työpisteen ja työntekijän kokemat melutasot vastaavat toisiaan, mikäli työntekijä todella on omalla työpisteellään. Usein näin ei kuitenkaan ole, vaan työntekijät liikkuvat ympäri tuotantotiloja. Myös päiväkohtaiset melutasojen vaihtelut ja mittausten epätarkkuus asettavat haasteita lainsäädännön asettaman a-ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$  absoluuttisen arvon määrittämiseen.

**Taulukko 11: Yhteenveto kaikkien mittauspisteiden ekvivalenttimelutaoista [dB]**

<b>Mittauspiste</b>	<b>Aures</b>	<b>B&amp;K4</b>	<b>B&amp;K5</b>
kotelo/moduuliasennus vaihe 5	71	82	71
pilotti lohkojen osakokoonpano	73	84	-
pilot/genu	72	84	80
kiertokanki/jäystö	75	-	88
kiertokanki/latausasemat 1 ja 3	77	88	86
lohkovalmistus/jäystö	80	81	88
sylinterikansi/jäystö	80	99	99
sylinterikansi/koneistus	72	84	-

Mikäli meluanalyysi ja toimenpidesuunnitelmat perustetaan pelkästään henkilökohtaisten mittauksien tulosten varaan, tehdään todennäköisesti turhaa työtä. Näiden tulosten pohjalta ei voi luotettavasti arvioida ylittyykö lainsäädännön määrittämät arvot tietyllä työpisteellä, eikä täten voi tehdä päätelmiä tarvittavista toimenpiteistä tai esimerkiksi tarpeesta merkitä tiloja meluiksi. Luotettavamman tuloksen työpisteen olosuhteista antaa kiinteä mittauspiste, joka kertoo todenmukaisemmin sen, millainen tilanne kyseisellä pisteellä on. Tätäkään menetelmää ei voida pitää absoluuttisena totuutena, sillä työtehtävät voivat vaihdella päivästä ja tuotannon kuormituksesta riippuen. Luultavasti paras käsitys löytyy jostakin näiden kahden mittausmenetelmän väliltä, jossa huomioidaan sekä työpisteessä itsessään ja sen ympäristössä oleva melu sekä henkilökohtainen melu, jolle työntekijä altistuu liikkuaan työpisteen ulkopuolella työajallaan.

Meluntorjuntakeinoissa painotetaan ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä ja melun leviämisen estämistä, eli toimenpiteitä, jotka kohdistuvat työpisteeseen. Tulosten perusteella ongelma ei kuitenkaan usein ole työpisteessä, vaan melu siellä on toiminta-arvojen sisällä ja henkilökohtaiset meluannokset ylittyvät, koska työntekijät liikkuvat ympäri työpaikkaa. Tällöin pelkkien annosmittareiden tulosten avulla ei voida tehdä johtopäätöksiä työpistettä koskevien parannusten suhteen, vaan tarvitaan myös muita, tässä työssä esitettyjä mittausmenettelyitä. Mikäli näin ei tehdä, vaan luotetaan annosmittareiden tuloksiin ajatellen niiden kuvailevan työpisteen tilannetta, eivät työpisteeseen kohdistetut toimenpiteet paranna tilannetta. Lisäksi, mikäli havaitaan parannustoimenpiteiden olevan tarpeellisia, tarvitaan esimerkiksi vaimennuksia ja absorptiomateriaaleja suunniteltaessa tietoa melun laadusta eli sen spektristä.

## **6.2 Tieteellinen uutuusarvo ja käytännön merkitys**

Olemassa olevassa tutkimuksessa on jo tunnistettu mittauksiin liittyvät ongelmat, mutta käytännön ratkaisukeinoja on tutkittu vasta vähän. Ratkaisut ovat keskittyneet melun simulointiin ja mallintamiseen, kun taas tämä tutkimus keskittyi löytämään helpon ja käytännöllisen työkalun melun tarkempaan tutkimiseen.



Tutkimuksen havainnot ovat sopusoinnussa aiemman tutkimuksen kanssa ja vahvistavat teoriaosuudessa mainittujen mittauksiin liittyvien ongelmien olemassaolon. Tulokset osoittavat lisäksi sen, että meluannosmittausten tulosten käyttökelpoisuus on kyseenalaista ainakin siinä kontekstissä mitä niillä on alun perin tavoiteltu ja ristiriidassa työsuojelulainsäädännön tavoitteiden toteutumisen kanssa. Jotta tuloksia pystyttäisiin hyödyntämään parhaalla mahdollisella tavalla, pitää mitata oikeita asioita.

Tutkimuksen konkreettinen tulos on se, että löydösten ja havaintojen avulla on mahdollista ymmärtää paremmin melua ja sen mittaamista. Tämän perusteella kohdeyrityksen on jatkossa helpompaa mitata niitä asioita, joita oikeasti halutaan selvittää. Mittaamalla oikeita asioita on perustellumpaa oikeuttaa resursseja melun tutkimiseen sen sijaan, että aikaa ja rahaa tuhlataan toimenpiteisiin, jotka eivät kohdistu oikeaan kohteeseen eivätkä täten hyödytä ketään. Mikäli työntekijöiden kuuloa todella halutaan suojella ja tehdä tuntuja meluntorjuntatoimenpiteitä, on siihen nyt olemassa keino.

Uuden tekniikan ja mittausmenettelyn avulla meluntorjunta helpottuu huomattavasti, sillä on mahdollista tutkia mikä melua aiheuttaa ja mihin meluntorjuntatoimenpiteet tulisi kohdistaa. Huomio on mahdollista kiinnittää alusta asti ongelmien ytimeen reaktiivisten toimenpiteiden toteuttamisen sijaan. Toimimalla näin, on ajan kuluessa mahdollista saavuttaa rahallisia säästöjä kuulovaurioiden ja niistä aiheutuvien kulujen sekä vakuutusmaksujen pienentyessä, vaikka investoinnit esimerkiksi uusiin laitteisiin ja työskentelymenetelmiin voivat aluksi tuntua suurilta. Toteuttamalla mittauksia Aures dataloggerilla on mahdollista esimerkiksi selvittää rajoittuuko melu johonkin tiettyyn työvaiheeseen tai onko melulähde jokin mahdollisesti vanhentunut kone tai laite, ja olisi siko niitä mahdollista korvata hiljaisemmilla. Mikäli joku tila tunnistetaan erityisen meluiseksi, on sinne mahdollista suunnitella meluesteitä tai työnkiertoa niin, että työntekijä ei joudu työskentelemään meluisassa tilassa liian pitkiä aikoja kerrallaan.

Tärkein käytännön merkitys, johon tarkemmilla mittauksilla pyritään, on se, että työnantaja voisi toteuttaa lainsäädännöllisiä velvoitteitaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ja toisaalta välttää ryhtymästä perusteettomiin toimenpiteisiin. Lainsäädännöstä tuleva tavoite on, että työntekijälle tai tämän terveydelle ei aiheudu haittaa työn suorittamisesta. Tässä tapauksessa mahdollisten kuulovaurioiden syntyminen voitaisiin tehokkaammin estää sekä parantaa työpaikan viihtyvyttä ja turvallisuutta. Haittapuolena on se, että saavutetut vaikutukset näkyvät kuitenkin mahdollisesti vasta vuosikymmenten päästä, sillä kuulovauriot syntyvät hitaasti. Välittömät vaikutukset näkyvät kuitenkin työympäristön ja työssä viihtymisen parantumisena, mahdollisesta tuottavuuden kasvuna, muun työturvallisuuden kohentumisena sekä melun aiheuttamien muiden fyysisten vaikutusten, kuten unihäiriöiden, helpottumisena.

### 6.3 Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimusta tarkasteltaessa tulee pohtia sen reliabiliteettia, eli luotettavuutta, ja valideettia, eli oikeellisuutta. Jos toinen henkilö toisena ajanhetkenä tekisi saman, päädyttäisiinkö samoihin tuloksiin? Ovatko tulokset oikeita ja vastaavatko ne tutkimuskysymyksiin? Miten pitkälle tuloksia voidaan yleistää kohteen ulkopuolelle? Millaisia epävarmuustekijöitä tutkimukseen liittyy ja mihin tulisi suhtautua kriittisesti?

Mittausten toistettavuus tai onnistuminen ei ole suoraan kytköksissä mittaajan ammattitaitoon, sillä mittaukset ovat melko yksinkertaisia toteuttaa. Mittausten suoritus ei vaadi teknistä osaamista, mutta tulosten analysoinnissa ja johtopäätösten tekemisessä tarvitaan asiantuntemusta. Tärkeämpää toistettavuuden kannalta on mittalaitteiden sijoittelu, mitausajankohta ja mittausdatan jälkikäsitteily. Mikäli nämä tehdään samoin kuin tässä tutkimuksessa ja mittaukset toistetaan samassa toimintaympäristössä, havaitaan mitä todennäköisimmin tulosten käyttäytymisessä sama trendi kuin tässä tutkimuksessa ja päädytään samaan lopputulokseen.

Käytetyt mittausmeneltemät soveltuivat tutkimuksen empiiriseen ja vertailevaan tutkimusotteeseen hyvin ja kerätty aineisto palveli tarkoitustaan. Laajemman aineiston käsittely olisi voinut tuottaa hankaluuksia ja koska tutkimuksen yhtenä tarkoituksena oli suorittaa vertailua kahden eri menetelmän välillä sekä havaita uusia mittausmahdollisuuksia, havainnot tulevat ilmi jo suhteellisen pienelläkin otoksella. Esimerkiksi määrällisen tutkimuksen tekeminen ei olisi tuonut työlle lisäarvoa. Saadut mittaus tulokset ovat valideja, sillä ne on toteutettu kalibroiduilla mittalaitteilla. Inhimillisten tekijöiden vaikutus mittaus tuloksiin on pyritty vähentämään leikkaamalla mittausdataa sekä alku- että loppupäästä. Työssä saavutettiin se mitä haluttiin ja päästiin tavoitteisiin, sekä saatiin vastaukset tutkimuskysymyksiin. Työ oli hyödyllinen kohdeyritykselle ja tämän perusteella se voi itsenäisesti lähteä kehittämään käytäntöjään ja tutkia aihetta lisää. Näin on osaksi jo tapahtunutkin ja tarkentavia mittauksia tehtailla on jo suoritettu. Tulokset ovat helposti sovellettavissa samankaltaisiin toimintaympäristöihin, mutta myös muihin kohteisiin, joissa melua on tarpeellista tutkia syvällisemmin.

Kohdeyritys soveltui hyvin tutkimuksen toteutusympäristöksi, sillä melu oli jo havaittu ongelmaksi. Lisäksi tahtotila meluntorjunnan tehostamiseen oli olemassa. Työntekijäpuolella melun tutkimisen suhteen oli kuitenkin havaittavissa pientä väsymystä ja turhautuneisuutta. Työntekijät eivät ehkä ottaneet mittauksia aivan tosissaan, vaan ovat hyväksyneet melun osaksi työympäristöä ja pitävät sitä asiana, jolle ei voi mitään. Pääsääntöisesti työntekijät olivat kuitenkin avuliaita, mutta asenteista huomasi sen, että asiaa ei pidetty tärkeänä. Tämän takia kyselylomakkeiden avulla kerättyyn tietoon tulee suhtautua kriittisesti, vaikka tulokset viittaavatkin siihen, miten melu työpaikalla koetaan. Toinen epävarmuutta lisäävä seikka on se, että lomakkeissa ei ollut määritelty mikä on ”normaali” melu, vaan kokemus on subjektiivinen riippuen henkilön kuulon oimi-

naisuuksista. Vaikka mittauksia toteutettiin paljon, osuivat monet niistä tavallista hiljaisempiin päiviin eikä rajatun ajan takia mittauksia voitu tehdä jokaisessa kohteessa toistamiseen. Haasteita tutkimuksen etenemiseen asetti myös mittareiden odottamaton vikaantuminen, minkä seurauksena mittauksia jouduttiin uusimaan.

## 7 YHTEENVETO

On selvää, että nykyiset mittausmetodit eivät palvele meluntorjunnan tarpeita riittävän hyvin. Vaikka tietotaitoa on olemassa, sitä ei hyödynnetä parhaalla mahdollisella tavalla melun aiheuttamien vaikutusten vähentämiseksi. Tekniikan kehitys on tuonut markkinoille mittalaitteita, joita käyttämällä melun mittaaminen ja tulosten analysointi monipuolistuisi. Näin saataisiin mahdollisesti todellisuutta paremmin vastaavaa mittausdataa ja uudenlaista informaatioisisältöä, joiden perusteella meluntorjuntatoimenpiteiden suunnittelu, toteutus ja niiden vaikutusten seuranta helpottuisi huomattavasti.

Työn edetessä kävi selväksi, että on kaksi täysin eri asiaa mitata työpisteellä vallitsevaa melutasoa ja työntekijän kokemaa melutasoa, eikä näillä kahdella välttämättä aina ole tekemistä toistensa kanssa. Työtehtävät ovat muuttuneet liukuhihnamaisesta suorittamisesta monimuotoisempiin tehtäviin, joten luonnollisesti työntekijän päivän askareet, liikkuminen ja muut toimet vaikuttavat saataviin mittaustuloksiin. Meluntorjuntatoimenpiteet kuitenkin lainsäädännön mukaisesti tulisi ensisijaisesti kohdistaa melun lähteisiin, mutta mittaamalla työntekijän kokemaa melutasoa, on tämä mahdotonta. Tarvitaan tietoa siitä, millaiset olosuhteet työpisteellä on, jotta niitä voidaan kehittää.

Olemassa oleviin mittauskäytäntöihin liittyy paljon ongelmia, jotka ilmenivät myös tätä työtä tehdessä. Käyttämällä kahta mittausmenetelmää rinnakkain saatiin mittauksista huomattavasti enemmän informaatiota ja näin muodostettua jonkinlainen todellisuutta parhaiten heijasteleva käsitys. Mittaustulosten ja muiden työn aikana tekemiäni havaintojen ja saamiäni kokemusten perusteella Aures dataloggerin avulla mittauksista saadaan niin arvokasta tietoa, että sen käyttöä tulee ehdottomasti jatkaa. Meluntorjuntatyötä ajatellen pelkkien henkilökohtaisten melumittareiden käyttö on riittämätöntä, sillä lisäksi tarvitaan tietoa myös melun taajuussisällöstä meluntorjuntatoimenpiteiden kohdentamiseksi melulähteisiin. Kannattavaa olisi myös ottaa työntekijät osaksi meluntorjuntatoimenpiteiden suunnittelua ja toteutusta, sillä he ovat työnsä asiantuntijoita ja osaavat antaa arvokkaita, mittaustuloksia täydentäviä ja selventäviä kommentteja.

## LÄHTEET

Alves-Pereira, M., Castelo Branco, N.A.A. 2007. Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 9, 1–3, pp. 256–279.

APL Systems. 2014. Kotisivut. [WWW]. Viitattu 6.4.2014. Saatavilla: <http://www.apl.fi/#!news/nws5/29a0cc5b-010c-40cc-9585-18fbbdf36168/ares-total>

APL Systems. 2013. Aures Analyzer Administrator's Manual v.0.3. 14 p.

Asumisterveysohje, 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1, Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki. [WWW]. Viitattu 5.4. 2014. Saatavilla: <http://pre20090115.stm.fi/pr1063357766490/passthru.pdf>

Axelsson A., Prasher D. 2000. Tinnitus induced by occupational and leisure noise, *Noise and Health* 2, 8, pp. 47–54.

Borenus J., Lampio, E., Pesonen, K., Jauhiainen, T., Nuotio, J., Pyykkö, I. 1981. *Akustiikan perusteet*. 3. painos. 1985, Insinööritieto Oy. 176 s.

Brüel & Kjaer. 2007. Technical documentation. Logging Noise Dose Meter Type 4445, User Manual. 60 p.

Cagno E., Di Giulio A., Trucco P. 2004 Statistical evaluation of occupational noise exposure. *Applied Acoustics* 66, pp. 297–318.

European risk observatory. 2009. Combined exposure to noise and chemicals, European agency for health and safety at work, Bilbao. [WWW]. Viitattu 5.4.2014. Saatavilla: [http://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/combined-exposure-to-noise-and-ototoxic-substances](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/combined-exposure-to-noise-and-ototoxic-substances)

Hongisto, V. 2011. RIL 243–4–2011 Rakennusten akustinen suunnittelu. Teollisuustilat. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 96 s.

IEC 61672-1:2013. Electroacoustics. Sound level meters Part 1: Specifications. International Electrotechnical Commission. 103 p.

ISO 1999:1990. Acoustics. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. International Organization for Standardization. 17 p.

ISO 1999:2013. Acoustics. Estimation of noise-induced hear loss. International Organization for Standardization. 23 p.

ISO 7731:2003. Ergonomics. Danger signals for public and work areas. Auditory danger signals. International Organization for Standardization. 17 p.

ISO 9612:2009. Acoustics. Determination of occupational noise exposure. Engineering method. International Organization for Standardization. 43 p.

ISO 15667:2000. Acoustics. Guidelines for noise control by enclosures and cabins. International Organization for Standardization. 50 p.

Johnson A-C., Morata T. 2010. Occupational exposure to chemicals and hearing impairment, The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals, *Arbete och hälsa*, 44(2010)4. [WWW]. Viitattu 5.4.2014. Saatavilla: [http://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/23240/1/gupea\\_2077\\_23240\\_1.pdf](http://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/23240/1/gupea_2077_23240_1.pdf)

Järveläinen, H. 1997. Äänenlaadun psykoakustiset tunnusluvut ja käsitteet-sivusto. Teknillinen korkeakoulu, akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio. [WWW]. Viitattu 4.4.2014. Saatavilla: <http://www.acoustics.hut.fi/~hjarvela/pohja/pohja.html>

Kauppinen T., et al. (toim.). 2013. Työ ja terveys Suomessa 2012. Seurantatietoa työoloista ja työhyvinvoinnista. Helsinki. Työterveyslaitos.

Korpinen, P. 2005a. Äänipää-sivusto, äänen taajuus. [WWW]. Viitattu 15.8.2013. Saatavilla: [http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu\\_1.htm](http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu_1.htm)

Korpinen, P. 2005b. Äänipää-sivusto, äänen voimakkuus. [WWW]. Viitattu 15.8.2013. Saatavilla: [http://www.aanipaa.tamk.fi/voima\\_1.htm](http://www.aanipaa.tamk.fi/voima_1.htm)

Koskinen, H-L. 2013. Melu, työn fyysinen rasittavuus ja vuorotyö sekä metabolinen oireyhtymä. Erillis- ja yhteisvaikutukset sepelvaltimotaudin vaaraan. Akateeminen väitöskirja. Tampere. Tampereen yliopisto, terveystieteiden yksikkö. [WWW]. Viitattu 5.4.2014. Saatavilla: <http://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/94637/978-951-44-9274-7.pdf?sequence=1>

Kuuloliitto. 2009. [WWW]. Viitattu 15.8.2013. Saatavilla: <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/kuuleminen/>

Lahti, T. 1995. Akustinen mittaustekniikka. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto, akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio.

Passchier-Vermeer W, Passchier WF. 2000. Noise Exposure and public health. Environmental health perspectives 108, suppl 1, pp. 123–131.

Pyykkö I., Toppila E., Zou J., Kentala E. 2007. Pharmacotherapy of the inner ear. [WWW]. Viitattu 5.4.2014. Saatavilla: [http://www.suomenmeniereliitto.fi/kuvat/Treatment\\_of\\_Inner\\_Ear.pdf](http://www.suomenmeniereliitto.fi/kuvat/Treatment_of_Inner_Ear.pdf)

Pääkkönen, R. 2013. Melu ja työympäristö. Verkkodokumentti. [WWW]. Viitattu 8.4.2014. Saatavilla: [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2013/08/a3\\_Paakkonen.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2013/08/a3_Paakkonen.pdf)

Rossing, T.D, Moore, F.R & Wheeler, P.A. 2002. The science of sound. 3<sup>rd</sup> edition. Addison Wesley Longman.

SFS-EN 4578. 1982. Meluallistuksen mittaaminen. Suomen standarditoimistoliitto. 5s.

SFS-EN 458. 2005. Kuulonsuojaimet. Valintamenetelmät, käyttö, hoito ja kunnossapito. Suositukset. Suomen standarditoimistoliitto. 61s.

SFS-EN 61672-1. 2014. Electroacoustics. Sound level meters. Part 1: Specifications. Suomen standarditoimistoliitto. 38 p.

SFS-EN ISO 15667. 2000. Akustiikka. Ohjeita koteloiden ja ohjaamoiden avulla toteuttavasta meluntorjunnasta. Suomen standarditoimistoliitto. 61s.

SFS-EN ISO 9612:en. 2009. Akustiikka. Työperäisen meluallistuksen määrittäminen. Tekninen menetelmä. Suomen standarditoimistoliitto. 47s.

Smith, B. J., Peters, R.J., Owen, S. 1996. Acoustics and noise control. 2<sup>nd</sup> edition. Addison Wesley Longman.

Stansfeld SA., Matheson MP. 2003. Noise pollution: Non-auditory effects on health. British medical bulletin 68, 1, pp. 243–257.

Starck J., Pekkarinen J, Pyykkö I. 1988. Impulse noise and hand–arm vibration in relation to sensory neural hearing loss. *Scand J Work Environ Health* 14(1988)4 pp. 265–71.

Starck, J., Teräsvirta, L. 2009. *Melu*. Työterveyslaitos, Helsinki. s. 8-14.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry kotisivut. [WWW]. Viitattu 6.4.2014. Saatavilla: [http://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi/sfs\\_en\\_iso](http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/sfs_en_iso)

Toppila E., Pyykkö I., Pääkkönen R. 2009. Evaluation of the Increased Accident Risk From Workplace Noise, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 15, 2, pp. 155–162.

Toppila E., Pyykkö I., Starck J., Kaksonen R., Ishizaki H. 2000. Individual Risk Factors In The Development Of Noise-Induced Hearing Loss. *Noise & Health* 2, 8, pp. 59-70.

Työmelu, 2007. Työsuojeluoppaita- ja ohjeita 2. Tampere, työsuojeluhallinto. 13 s.

Työterveyslaitos, 2010a. Jälkikaiunta-aika. [WWW]. Viitattu 26.3.2014. Saatavilla: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun\\_mittaaminen/jalkikaiunta\\_aika/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_mittaaminen/jalkikaiunta_aika/sivut/default.aspx)

Työterveyslaitos, 2010b. Melun terveysvaikutukset. [WWW]. Viitattu 26.3.2014. Saatavilla: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun\\_terveysvaikutukset/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_terveysvaikutukset/sivut/default.aspx)

Työterveyslaitos, 2012. Tavoitetasoperustelumuistio melulle-verkkodokumentti. [WWW]. Viitattu 26.3.2014. Saatavilla: [http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus\\_ja\\_riskien\\_hallinta/riskien\\_hallinta/ohjearvot\\_tavoite\\_tasot\\_haittatekij%C3%B6ille/tavoitetasot/Documents/melu\\_tavoitetasot\\_122012.pdf](http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/ohjearvot_tavoite_tasot_haittatekij%C3%B6ille/tavoitetasot/Documents/melu_tavoitetasot_122012.pdf)

Työterveyslaitos, 2015a. Melu. [WWW]. Viitattu 18.9.2015. Saatavilla: [www.ttl.fi/melu](http://www.ttl.fi/melu)

Työterveyslaitos, 2015b. Melun mittaaminen. [WWW]. Viitattu 18.9.2015. Saatavilla: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun\\_mittaaminen/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_mittaaminen/sivut/default.aspx)

Työterveyslaitos, 2015c. Meluallistus. [WWW]. Viitattu 18.9.2015. Saatavilla: [http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun\\_mittaaminen/meluallistus/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_mittaaminen/meluallistus/sivut/default.aspx)

Työturvallisuuslaki 738/2002



van Kempen EE., Kruize H., Boshuizen HC., Ameling CB., Staatsen BA., de Hollander AE. 2002. The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environmental health perspectives* 110, 3, pp. 307–317.

VNa 85/2006, Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta

VNa 400/2008, Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (koneasetus)

VNa 856/1998, Valtioneuvoston asetus työssä käytettävien koneiden ja muiden työvälineiden hankinnasta, turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta

Wärtsilä Oyj Abp Vuosikertomus 2013. [WWW]. Viitattu 30.3.2014. Saatavilla: [http://wartsila-ports.studio.crasman.fi/file/dl/i/yLNICw/MajsXl9iHps2Ukg\\_aVILrA/Wartsila\\_Vuosikertomus\\_2013.pdf](http://wartsila-ports.studio.crasman.fi/file/dl/i/yLNICw/MajsXl9iHps2Ukg_aVILrA/Wartsila_Vuosikertomus_2013.pdf)

**LIITE 1. YHTEENVETOTAULUKKO KESÄLLÄ 2012 TEHTYJEN MELUANNOSMITTAUSTEN TULOKSISTA.**

Työpiste	Ajankohta	LAeq (8h) [dB]	Lpeak [dB]
Linjakokoonpano/moduuliteam	29.8	74,2	141,8
Linja/hitsaamo	27.6	88,5	139,4
Linja/genusolu	27.6	77,0	140,1
Linja/lohkotiimi 1-2	27.6	82,9	124,7
Pilottikokoonpano/20-solu	26.6	81,6	124,6
W20 osakokoonpano	12.6	87,9	135,4
Osaverstas (vanha 21)/pulttisolu	12.6	81,4	125,6
W20/koeajo	15.8	94,1	124,7
W20/viimeistely	15.8	80,5	126,8
32 kaasuviimeistely	8.8	82,8	132,6
32 kaasukoeajo	9.8	97,0	128,4
32 Kaasukoeajo (kellarimies)	10.8	92,1	138,5
32 Kaasukoeajo	10.8	91,1	124,5
32 Kaasukoeajo	10.8	92,4	124,4
32 dieselkoeajo	9.8	100,8	121,8
Dieselviimeistely	8.8	80,9	114,7
Dieselviimeistely	8.8	81,7	117,3
W32 dieselkoeajo	16.8	101,6	124,6
Lohkovalmistus	7.6	89,4	139,5
Lohkovalmistus	7.6	97,5	146,2
Lohkovalmistus/koeponnistus	7.6	88,4	124,3
Lohkovalmistus/pesukone	7.6	86,6	124,4
Lohkovalmistus/jäystö	11.6	87,6	124,3
Lohkovalmistus/piiroitus	11.6	88,4	124,3
Lohkovalmistus/osakokoonpano	26.6	82,6	129,5
MTC dechel macho koneenkäyttäjä	16.8	87,1	124,4
Sylinterikansiverstas/lataus	5.6	82,3	133,9
Sylinterikansiverstas/lataus	5.6	86	138,4
Sylinterikansiverstas/jäystö	5.6	92,6	140,0
Sylinterikansiverstas/jäystö	5.6	97,6	124,5
Sylinterikansiverstas/konemies	5.6	80,8	124,5
Sylinterikansiverstas/koneistus	23.8	82,5	142,6
Sylinterikansiverstas, osakokoonpano, nuke-solu (vanha puoli, mittari sammunut kesken mittauksen)	18.6	80,9	125,3
Kiertokanki, lataus/jäystö	21.8	80,0	124,4

Kiertokanki/jäystö	21.8	88,4	144,0
Kiertokankiverstas/lataaja	22.8	85,5	124,5
Kiertokankiverstas/konemies	22.8	77,8	141,3
Kiertokankiverstas/konemies	29.8	85,3	124,5
Turbo-osakokoonpano/5. vaihe	18.6	83,8	124,5
Turbolinja/5.vaihe (mittari sammunut)	14.6	89,7	125,2
Osaverstas/moduulikoneistus, okuma	18.6	78,5	137,2
Turbolinja	14.6	90,2	141,3
Moduuliosakokoonpano, kotelo, uusi tehdas	14.6	85,4	144,1
Sivuluukkusolu, polttoaineasennus, uusi tehdas	14.6	81,8	124,4
Big cover/konemies	11.6	83,9	141,0
Big cover/lataus	11.6	85,4	138,6
Big cover/jäysteenpoisto	11.6	83,7	133,2
Doosa/lataus	13.6	79,9	142,0
Doosa	13.6	86,3	131,1
Labra/city	13.8	85,7	124,5
Labra/selli 3 (moottoreita ei käynnissä)	3.7	84,2	124,5
Runsor reco	23.8	78,3	144,5
Runsori pumppuhuone	27.8	80,8	140,2
Runsori pakkaamo 1	27.8	80,8	136,3
Vaskiluoto/SEC	14.8	85,9	139,6
Vaskiluoto/rig 32 vic	14.8	82,8	124,4
Tavaran vastaanotto/logistiikka (uusi halli)	18.6	76,8	140,0
Logistiikka/pakkaamo	19.6	86,4	140,6
Logistiikka/pesukone	19.6	89,6	140,4
Kampiakselisolu/pesu	13.6	88,2	141,2
Pilotin logistiikka	26.6	79,9	139,2